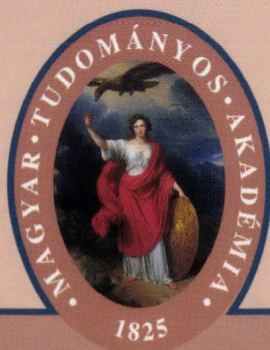


AKADÉMIAI MŰHELY

KÖZGYŰLÉSI ELŐADÁSOK

1999



KÖZGYŰLÉSI ELŐADÁSOK, 1999

I. kötet

AKADÉMIAI MŰHELY

Közügyűlési előadások

SZERKESZTŐBIZOTTSÁG

Beck Mihály, Glatz Ferenc (elnök), Hámori József, Ritoók Zsigmond

Közgyűlési előadások
1999
I. kötet

MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
Budapest, 2001

Szerkesztő
GLATZ FERENC

Olvasószerkesztő
Pótó János

ISSN 1585-1915

Kiadja
a Magyar Tudományos Akadémia
Kiadásért felel: Szabó B. István
Kiadói szerkesztő: Burucs Kornélia
Nyomdai előkészítés: AbiPrint Nyomdai Szolgáltató Bt.
Nyomdai munkálatok: AKAPRINT Nyomdaipari Kft.
Felelős vezető: Freier László ügyvezető igazgató
Készült.: 32,5 B/5 nyomdai ívben, 800 példányban

Tartalom

I. kötet

Akadémiánk az új szintézis szolgálatában (Glatz Ferenc)	11
---	----

A NYELV- ÉS IRODALOMTUDOMÁNYOK ÉS A FILOZÓFIA ÉS TÖRTÉNETTUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK EGYÜTTES ÜLÉSE

Nemzeti hagyományaink: állandóság és változás

SZABAD GYÖRGY: Az antiabszolutizmus hagyományai a kiváltságőrzés és a jogkiterjesztés kereszttüzében	17
SZEGEDY-MASZÁK MIHÁLY: A Nemzeti hagyományok időszerűsége	31
MAROSI ERNŐ: Konzerválni, restaurálni, rekonstruálni. A kulturális örökséggel való bánásmód a művészettörténetben	49
KÓSA LÁSZLÓ: A néphagyomány és a nemzeti művelődés – hatvan év után	55
KISS JENŐ: Hagyomány, nyelv és nyelvközösség	63
PLÉH CSABA: A magyar pszichológia kétféle hagyománya: a természeti és a közösségi ember	71
SZENDREI JANKA: Ungarorum Symphonia	83
BÁTHORY ZOLTÁN: Nemzet és globalizáció: a nevelési értékek változása az iskolában	89

MATEMATIKAI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYA

A valószínűség-számítás és a matematikai statisztika határeloszlásai

CSÁKI ENDRE: Határértéktételek a lokális idő Hilbert-transzformáltjára	183
MAJOR PÉTER: A majdnem biztos invarianciaelv és annak mélyebb háttere	103
MÓRI TAMÁS: Futamokkal kapcsolatos határeloszlás-tételek	111
PAP GYULA: Autoregressziós modellekkel kapcsolatos határeloszlás-tételek	123
CSÖRGŐ SÁNDOR: A simítási dichotómia	135

AGRÁRTUDOMÁNYOK OSZTÁLYA

Stratégiai kihívások az ezredfordulón

SIPOS ALADÁR, SZÚCS ISTVÁN: Állami szerepvállalás a mezőgazdaságban	145
STEFANOVITS PÁL: A termőföld szerepe az agrártermelésben	157
RUZSÁNYI LÁSZLÓ: A növénytermesztés és a növényi termék, valamint a környezet minősége	163
PAPP JÁNOS: Versenyképes kertészeti ágazatok fejlesztési koncepciójának alapjai	169
SOLYMOS REZSŐ: Az erdő- és fagazdaság	181
KIRÁLY ZOLTÁN: A magyar növényvédelem korszerűsítésének koncepciója	189
DUDITS DÉNES: A növényi biotechnológia	199
DOHY JÁNOS: Az állat-biotechnológia a termelés szolgálatában	205
HORN PÉTER: Az állattenyésztés fejlesztésének szükségessége és fő irányai	211
MÉSZÁROS JÁNOS, NAGY BÉLA, VARGA JÁNOS: Állategészségügy	223

AZ AGRÁRTUDOMÁNYOK ÉS AZ ORVOSI Tudományok Osztályának EGYÜTTES ÜLÉSE

Élelmiszerek a humán és állatorvosi patológiában

MÓZSIK GYULA, FIGLER MÁRIA: A táplálékok és az élelmi anyagok felszívódását befolyásoló emésztési folyamatok, anyagok, tényezők egészséges emberekben és betegekben	231
FIGLER MÁRIA, MÓZSIK GYULA: Az emberi test összetétele kóros állapotokban. Elhízás és alultápláltság	243
GÁLFI PÉTER: Rövid szénláncú monokarbonsavak hatása a bél mikroflórájára, az emésztőcső nyálkahártyájára és egyes tumoros sejtekre	251
RAFAI PÁL, ZOMBORSZKYNÉ KOVÁCS MELINDA: Egyes mikotoxinok kórélettani hatásai	257
SZÚTS PÉTER: Gabonapénészek gyermekgyógyászati hatásai	265

AZ ORVOSI TUDOMÁNYOK, A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK ÉS A FIZIKAI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK EGYÜTTES ÜLÉSE

Száz éve született a Nobel-díjas Békésy György

TAKÁCS GYÖRGY: Békésy feladata az Internet korában	273
MICHELBERGER PÁL: A szubjektív kockázati tényezők csökkentése	279
MARX GYÖRGY: Békésy György kulturális gyökerei és interdiszciplinaritása	289
PALLÓ GÁBOR: A tudomány és művészet találkozási pontján: Békésy György vándorlásai	295
TARNÓCZY TAMÁS: Békésy György teremakusztikai kutatásai	301
RIBÁRI OTTÓ: Békésy György szerepe a modern hallásjavító műtétek kialakításában	317
SZIKLAI ISTVÁN: Békésy haladóhullám-elmélete és mai felfogásunk az emlősök perifériás hallási mechanizmusáról	325
VÉCSEI LÁSZLÓ: Újabb adatok a neurodegeneratív kórképek és a kísérletes halláskárosodás patomechanizmusához	331
TÓTH MIKLÓS: A cochlea anatómiája	337

MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYA

*Mechanika – elmélet és gyakorlati alkalmazások • Mechanika és gépszerkezetek •
Mechanika és tartószerkezetek • Mechanika és anyagtudomány •
Mechanika és élettudomány*

PÁCZELT ISTVÁN: A numerikus mechanika szerepe a gépészetben	347
STÉPÁN GÁBOR: Számítógéppel szabályozott gépek dinamikája	359
NYÍRI ANDRÁS: Hidromechanika a gépészeti áramlástechnikában	369
KURUTZNÉ KOVÁCS MÁRTA: A nemlinearitás szerepe és vizsgálata a mechanikában	379
KOLLÁR LÁSZLÓ P.: Kompozitanyagok mechanikája (Kihívások és meglepetések)	437
PROHÁSZKA JÁNOS: Érdekes alakváltozások	447
GINSZTLER JÁNOS: Az erőművi főberendezések megbízhatósága	459
BOJTÁR IMRE: Laza szemcsés anyagok mechanikája	467
MONOS EMIL: A vénás érrendszer biomechanikája	485
KRAKOVITS GÁBOR: Az emberi test csontos vázszerkezetének biomechanikája	491
SITKEI GYÖRGY: Mechanika a mezőgazdasági tudományokban	501

II. kötet

KÉMIAI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYA

A kémia százada

LIPTÁK ANDRÁS: A kémia hozzájárulása a molekuláris biológia mai eredményeihez	531
NÁRAY-SZABÓ GÁBOR: Számítási kémia	547
FURKA ÁRPÁD: Kombinatorikus kémia	559

BIOLÓGIAI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYA

Az ökológia helyzete és perspektívái a felsőoktatásban

MAJER JÓZSEF: Az ökológiaoktatás „diverzitása”	575
TÖRÖK JÁNOS, OBORNY BEÁTA, SZENTESI ÁRPÁD: A szünbiológia oktatás szintjei az ELTE-n	581
GALLÉ LÁSZLÓ: Ökológiai oktatás infrastruktúra nélkül	591
DÉVAI GYÖRGY, LAKATOS GYULA, VARGA ZOLTÁN: A szünbiológia oktatásának stratégiai kérdései debreceni perspektívából	599
VARGA ZOLTÁN: Zoológiai irányú szünbiológiai és evolúcióbiológiai oktatás Debrecenben	609
BAKONYI GÁBOR, TUBA ZOLTÁN: Az ökológia-szünbiológia oktatása hazai agráregyetemi szempontból	615
GYURÁCZ JÓZSEF, IZSÁK JÁNOS: A szupraindividuális organizációkkal (SIO) kapcsolatos tantárgyak helyzete a Berzsenyi Dániel Főiskolán	627
KÁRÁSZ IMRE: Az ökológiai képzés helyzete és feladatai a tanárképzésben (az egri főiskola példáján)	631
TÓTHMÉRÉSZ BÉLA: Az ökológia oktatása a 21. század küszöbén és az internet	639

GAZDASÁG- ÉS JOGTUDOMÁNYOK OSZTÁLYA

A 20. század főbb tanulságai és a jövő alternatívái

SIMAI MIHÁLY: A világ gazdaság fejlődésének főbb irányai és Magyarország a 21. század küszöbén	647
BAYER JÓZSEF: A globalizáció és politikai hatásai	669
CSABA LÁSZLÓ: A magyar közgazdaságtan a világáramban	693
HORVÁTH GYULA: Decentralizáció és regionalizmus a 20. századi Európában	705

FIZIKAI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYA

Sugárvédelem és izotóptechnika

Szilárdtestfizika és fizikai anyagtudományok

A statisztikus fizika újabb eredményei

MARX GYÖRGY: Nukleáris hulladékok végleges elhelyezése	735
VAJDA NÓRA, BÓDIZS DÉNES, MOLNÁR ZSUZSA, JERZY W. MIETELSKI: Radioizotópok terjedésének nyomon követése talajban	741
KÖTELES GYÖRGY, TÓTH ESZTER: Gondolatok az ionizáló sugárzás kis dózisainak hatásairól	751
HERTELENDI EDE: Légköri nukleáris fegyverkísérletek által termelt T, ^{14}C és ^{137}Cs segítségével végzett analitikai vizsgálatok	767
KAJCSOS ZSOLT, LISZKAY LÁSZLÓ: Felületközeli, hosszú élettartamú pozitronium-állapotok mikropórusos rendszerekben	777
BÍRÓ LÁSZLÓ PÉTER, MÁRK GÉZA, SZABÓ BÁLINT, GYULAI JÓZSEF: Nanocsövek, szilárdtestek, nagy energiájú ionok. (A szilícium utóda?)	797
PUSZTAI LÁSZLÓ: A reverse Monte Carlo-módszer szilárdtest-fizikai alkalmazásai	801
TÉL TAMÁS: Reakciók kaotikus áramlásokban	805
CSORDÁS ANDRÁS: Egy új kvantumközeg: Bose–Einstein kondenzált gázok	815
JÁNOSI IMRE: Fizikusok a tőzsdén	827
VATTAY GÁBOR, CSERTI JÓZSEF, SZÁLKA GERGELY, KOLTAI JÁNOS: Periodikus mezoszkopikus struktúrák vezetési tulajdonságai	833

ANYAGTUDOMÁNYI BIZOTTSÁG

Anyagtudomány ,99

BERKÓ ANDRÁS, SOLYMOSI FRIGYES: Kétdimenziós modell-rendszerek, nemesfém nanoklaszterek oxidfelületeken	851
---	-----

Akadémiánk az új szintézis szolgálatában

„Új szintézisre van szükség a kutatói gondolkodásban. Ezen igény magából a tudomány fejlődéséből, a kutatói felfedezésekből és azok gyakorlati alkalmazásából ered.

A kutatói elme mind mélyebbre hatolt be az anyagba: a fizikusok, majd a kémikusok előbb a természetről, a világról való gondolkodásunkat változtatták meg alapvetően, majd az utóbbi fél évszázadban az ipari-technikai forradalmak hullámainak sorát indították el. Nemcsak az ipari és az élelemtermelést lendítették előre, új technológiákat hozva évről évre üzemeinkbe, hanem – társulva mindnyájunk gondolkodási alaptudományával, a matematikával – útjára indították az információs forradalmat, az emberi érintkezéskultúra ma még beláthatatlan jövőhöz vezető értékrendváltását is. És ma még le nem írt változásokat idéztek elő a szerszámkészítő és -használó, a környezetét és ezzel önmagát is alakító napi emberi tevékenységben.

Azután a biológiai forradalom sokkolt bennünket. Ugyanazon korosztályt, amelyik először kényszerült számolni a világról alkotott képében az Univerzummal, az atommal, majd az ember évezredes álmának megvalósulásával, a mesterséges anyaggal. A gének világának, az ideg- és agyműködésnek feltárulkozása, ugyanakkor az élő környezet rendszerben szemlélése nemcsak az ún. élettudományok követhetetlen sebességű fejlődését hozta magával, hanem immáron az emberi nem létének, jövőjének alapkérdéseit is feszegeti. Etikai nagyságrendű kérdéseket...

No és a társadalomkutatás? Amelynek vizsgálnia kell, hogyan hat ki e technikai-élettani gondolkodás robbanása magára az emberre. Vajon hol tartunk mi? Ismerjük-e egyáltalán a század természettudományos gondolkodásának robbanásait? Ismerjük-e a század épített és természeti környezetének vagy a közember életcéljainak átalakulását? Képesek vagyunk-e együttgondolkodni kutatótársainkkal, akik csodagépeket, csodafegyvereket alkotnak, újrat teremtik, átformálják a talajt, vizet, levegőt, állat- és növényvilágot, felszámolják az emberi kórokat? Együttgondolkodunk-e velük, hogy ne álljanak metahumánus célok szolgálatába... Hogy teremté erejük emberi célokat szolgáljon...

Akadémia: a szintézis eszköze

Együttgondolkodásra, a hagyományos diszciplinakeretek feltörésére, új szintézisre kényszerít bennünket tehát magának a tudománynak a fejlődése. És e fejlődés következményei. A magyarságnak történelmi szerencséje, hogy van olyan tudományszervezete, amely otthont, szervezeti kereteket adhat ezen új, szintetizáló látásmód kialakulásának. Noha a Magyar Tudományos Akadémiát elsősorban a

magyar nyelvet fejlesztő intézményként alapították, de másfél évszázad alatt a Magyarországon művelt valamennyi tudományt magába fogadta.

A mai kutatonemzedékek nagy mulasztása volna, ha nem használná Akadémiánkat arra, hogy erősítse az új, szintetizáló gondolkodást. Hiszen mi más a tudományos szervezetek célja, mint hogy segítsék a kutatói tevékenységet magát? Ezért is határozott az Akadémia vezetése úgy, hogy mindent elkövet a falainkon belül élő különböző tudományok párbeszédéért. Mindenki számára legyen hozzáférhető a mások gondolkodási terméke...

A rendszeresség meghonosítása

Székfoglalóink, közgyűlési előadásaink a magunk lényegét adják: témakereséseinket, módszertani útkereséseinket. Hol leírjuk ezen előadásokat, hol nem, gyakran hozzáférhetővé sem tettük eddig azokat tagtársaink számára. Legjobb esetben is csak szűkebb szaktársaink ismerték azokat. Szakítsunk e rossz hagyománnyal!

1997-ben az Akadémia vezetése úgy döntött, hogy könyvsorozatot indít *Akadémiai Műhely* címmel, amelynek feladata, hogy segítse Akadémiánk működésének rendszerességét és egyben szervezze is az akadémiai fórumokat. Legyen a rendszeresség megteremtésének eszköze. El akarjuk érni, hogy az akadémiai székfoglalókat minden esetben írásban is készítsék el tagtársaink, ezért jelentetjük meg azokat 1998-tól rendszeresen (*Székfoglalók a Magyar Tudományos Akadémián*). Erősíteni akarjuk a tudótestület tradícióit mint bennünket összetartó erőt és a tudományban a folyamatosság fontosságára figyelmeztető tényezőt. Ezért újítottuk fel az 1949-ben megszakadt emlékbeszédek hagyományát az Akadémia elhunyt tagjairól. Gondoskodni kívánunk ezek kiadásáról (*Emlékbeszédek az MTA elhunyt tagjai felett*). Közreadjuk ezután a közgyűlések alkalmából elhangzott tudományos előadások szövegét (*Közgyűlési előadások*). És ezek mellett megindítjuk az Akadémia történelmében valahogy mindig elmaradt évkönyvsorozatot (*Az MTA Évkönyve*), és rendszeresen megjelentetjük az 1991-ben megszakadt, majd 1997-ben újraindított akadémiai almanachsorozatot (*Az MTA Almanachja*).

És mi e rendszeresség megteremtésének célja – kérdeztük az 1997. decemberi közgyűlésen? Előlegezett válaszuk: az új, szintetizáló látásmód erősítése a kutatói gyakorlatban. Mint ahogy a tudományszervezet célja csakis a tudományos megismerés segítése lehet."

A teljesség igénye

Így írtunk 1999 áprilisában a *Közgyűlési előadások* első kötetének nyomdába adása előtt, szerkesztőként. Akkor még nem voltunk biztosak abban, hogy az 1997 decemberében elfogadott új elv érvényesülése lehetséges lesz. Nem voltunk biztosak abban, hogy tagtársaink örömmel fogadják, ha a vezetés a székfoglalók, a közgyűlési előadások leírására, sajtó alá rendezésére, sőt emlékbeszédek tartására

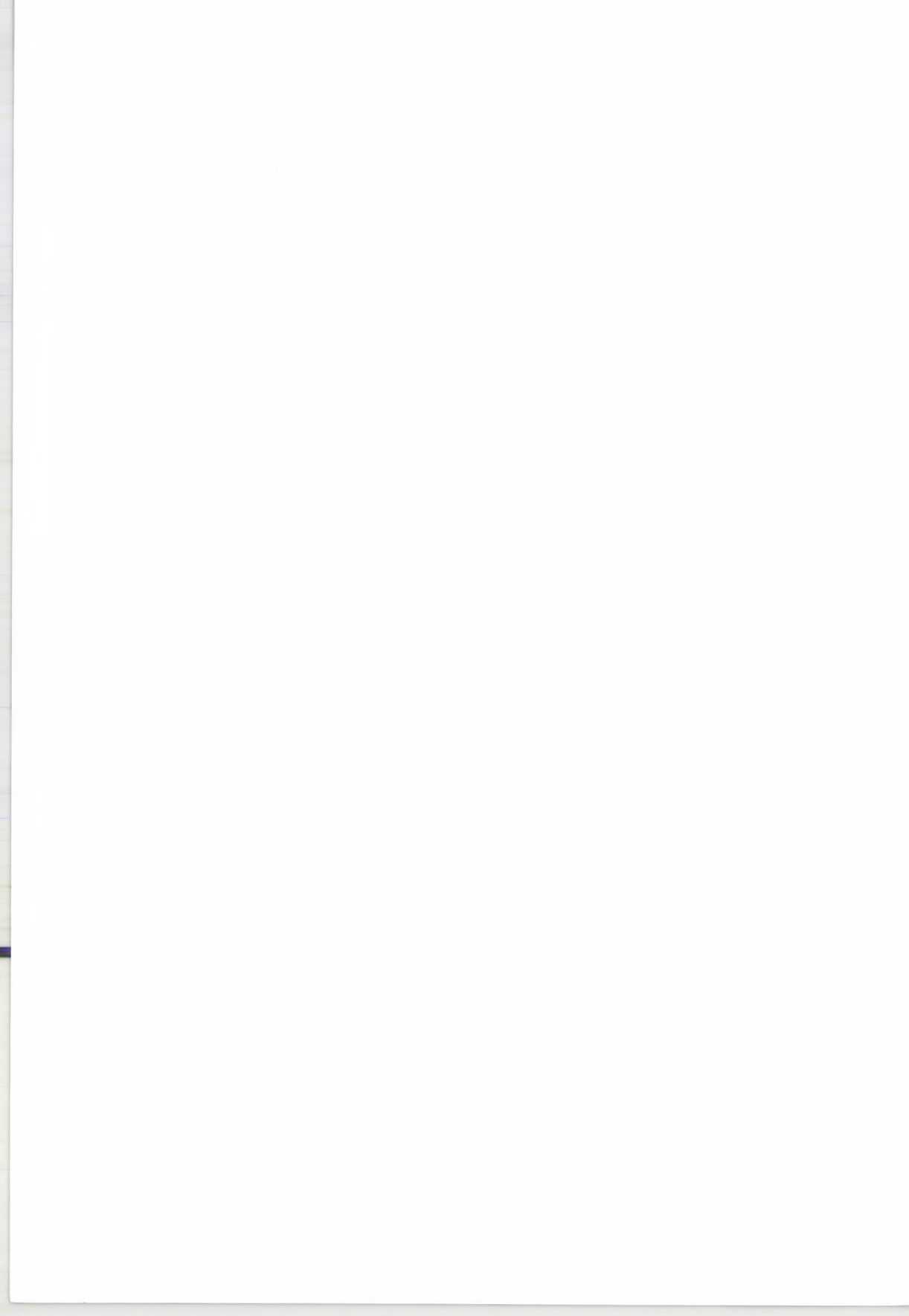
készíteti őket. Abban már biztosabbak voltunk, hogy a javaslat tartalmi, tudományos alapját, az új szintézisre való készítetést, egyetértéssel fogadják. Hiszen évtizedek óta beszédtem konferenciákon, osztály- és közgyűléseken: a 20. század második felében visszaszorult az egységben látás igénye. A tudomány újabb és újabb termelési és életterületeket vett birtokba, minden gyártási folyamatrészt, emberi döntést kiterjedt kutatások előznek meg; a kutató a társadalom egyik legmegbecsültebb tagja lesz; a kutatásszervezet – tanszékek, intézetek – specializálódik; a tudományos minősítés feltételei a részletekben való mind mélyebb elmerülésre ösztönöznek bennünket. A 20. század második fele így lett a specializálódások, a rész kutatások kora. Már-már szemünk előtt veszítjük az „egészet”, egy-egy diszciplínán belül is eltűnnek a nagy, átfogó vállalkozások, és teljesen visszaszorult annak igénye, hogy a világot – az anyagot, a szellemet – egységében lássuk. Eltűnnek lassan azok az elmék, akik képesek akár a legkisebb természeti vagy társadalmi jelenséget vizsgálva is azt a nagy, a különböző mozgás- és életformák közötti összefüggésekbe ágyazni. A diszciplínák közötti átjárhatóság elé merrev kutatásszervezeti falak épültek – ajtók nélkül.

Lépéstartás a világgal

Akadémiánk két nagy vállalkozása is ösztönzött bennünket az új szintézis, az új gondolkodásmód fejlesztésére. Az egyik a Nemzeti Stratégiai Kutatások Programja volt, a másik az 1999–2000-ben folyó diszciplínaviták. A Stratégiai Kutatások Programja az ezredforduló nagy természeti és társadalmi világkihívásainak feltárására és alternatív válaszok kimunkálására vállalkozott. (Akár az 1998., de még inkább az 1999. évi közgyűlési ülésszakok tematikájában ott látjuk nyomait: a közép-kelet-európai ökológiai megfigyelési rendszerről; a társadalomtudományok válasza az ezredvég kihívásaira; az agrárfejlődés stratégiája; nemzeti hagyományok helye a modern műveltségben és így tovább.) A diszciplínaviták pedig egy szakterület elhelyezkedését vitatták a világ és a magyar tudomány egészében. (Ezen kezdeményezések jelennek meg a közgyűléseken, amikor a fizika, a kémia fejlődési irányairól, majd a mechanikaelméletről, az ökológiáról, az anyagtudományról olvashatunk a közgyűlési előadásokban.)

Vagyis Akadémiánk ismét – mint oly sokszor az elmúlt másfél évszázadban – része a világ technikai és gondolkodási forradalmának.

Ezen optimista gondolatmenettel ajánlom tagtársaimnak a közgyűlési előadásokat. Mint szerkesztő sokat tanultam mind a természet-, mind élet- és a társadalomkutatók szövegeiből. A sok éjszakai olvasás után úgy érzem: valóban segítik gondolkodásomban a szintézisre törekvés vágyát. Egy olyan korban, amikor újra kell gondolni ember–természet, ember–ember, tudomány és ember viszonyát.



**A NYELV- ÉS IRODALOMTUDOMÁNYOK ÉS A
FILOZÓFIA ÉS TÖRTÉNETTUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK**
együttes ülése

NEMZETI HAGYOMÁNYAINK: ÁLLANDÓSÁG ÉS VÁLTOZÁS

Az antiabszolutizmus hagyományai a kiváltságőrzés és a jogkiterjesztés keresztüzében

Az Akadémia I. és II. Osztályainak együttes ülésén elnyert megtisztelő előadási lehetőséggel élve, igyekszem kerülni azt, hogy a régi szólásmondás szerint mindenről beszélve semmitmondó legyek. A rendelkezésemre álló időkeretben az antiabszolutizmusnak a polgári átalakulást megelőző hazai hagyományairól és dilemmáiról kívánok szólni, különös tekintettel a kiváltságőrzés és a jogkiterjesztés tendenciáira. Vázlatos áttekintésemben főként a 16–18. század vonatkozó fejleményeit érintem, előzményeikre éppenséggel csak utalok, a dilemmák feloldásának – más alkalmakkor tárgyalt – 19. századi nagyszabású folyamataira pedig csupán kitekintéssel élek.

*

Hagyományainkban indokoltan övezi megkülönböztetett tisztelet a királyságként megalapított magyar állam történetének kezdeteit. Hiszen valóban bámulatos, ahogy keretei között a magyarság nemcsak gyökeret vert, hanem a nyugati fejlődés veszélyeztetőjéből annak védelmezőjévé is vált. A Magyar Királyság mintakövető tanítványként, anélkül, hogy hűbéressé alázkodott volna, idomult – az Európának még csak igen kivételesen nevezett – egykorú „keresztény világ” követelményeihez.

Az Árpád-házi uralkodók, ha pogánylázadásokkal s nomád betörésekkel nehéz küzdelmekre kényszerítetten is és korántsem mentesülve az egyes szomszédok beavatkozásaival terhelt trónviszályoktól, nem sikertelenül követték a nyugati egyeduralkodók példáját. Többségük az államalapító Szent István *Intelmeinek* szellemében kerülte a „zsarnokoskodást”, tartotta meg a „hitet”, érvényesítette az „igazságot”, és – ha nem is mindig, még kevésbé egyazon mértékkel – mérte a bölcsességet és a szigorúságot. Dekrétumaiban nem csupán magára és híveire volt tekintettel, hanem az utódokra örökítendő ország vélt és valóságos érdekeire is. II. Andrást viszont – ismert módon – már a számottevő erőt jelentő szabadok rétegei szorították az Aranybullában rögzített kiváltságaik elismerésére, egyidejűleg, de nem visszahatás nélkül korlátozva az uralkodót bizonyos nagy hatalmú erők iránti részrehajlásban. IV. Béla kiegyensúlyozó törekvéseinek

a tatárjárás következményei szabtak határt. A józan kezdeményezések folytatásának lehetőségét – nem kevéssé az öntörvényű IV. (Kun) László idején úrrá vált anarchia folytán is – III. András a nyugati törvényhozások színvonalához végre közelítő 1298. évi országgyűlés sikereiben éppen csak felvillanthatta. Halála után pedig az ország a kiskirályok martaléka lett, majd az Anjou-ház kormányzati elveinek hódolt.

A művelt és praticista Károly Róbert a dinasztia hagyományaival összhangban lényegében mellőzte a törvényhozást. Egyetlen „dekrétuma” 1342-ben, valószínűleg egy szakszerű bérleti szerződés keretei közt szabályozta a pénzverést, a nemesfémgorgalmat és az adóztatást, meghatározva az „érdekeltek” kötelezettségeit és jogosultságait. Fia, Nagy Lajos is óvakodott alig gyakorolt, de kizárólagosnak tekintett törvényalkotói jogát megosztani a rendekkel. Egyetlen, de igen nevezetes 1351. évi dekrétumát saját hivatkozása szerint anyjának „kívánságára” és báróinak „tanácsára” bocsátotta ki. Hangsúlyosan uralkodói „jogánál” fogva járt el tehát a nemzetségi öröklést biztosítani kívánó ősiség, a nemesség jogi egyenlőségének deklarálása, illetve a jobbágyosság „kilencedadási” kötelezettségének megállapítása során. Ugyanakkor dekrétumának egy-egy példányát megküldte minden megyének, ami a köznemesség növekvő súlyának hallgatólagos elismerését jelezte. Lánya, Mária királynő pedig már azt is szükségesnek tartotta, hogy uralkodói jogait olyan rendi országgyűléssel ismertesse el, amelyen a megyéket 4-4 nemes képviselte. A királynő férje és trónjának örököse, Luxemburgi Zsigmond, ha nem is késedelem nélkül, de magáévá tette az országgyűléssel közös törvényalkotás gyakorlatát. Nyugati tapasztalatainak minden bizonnyal meghatározó szerepe volt abban, hogy 1405-ben összehívta a szabad és királyi városok küldötteit, állásfoglalásukat kérve közügyekben, például a mértékek szabályozása dolgában. 1435-ben viszont olyan országgyűléssel fogadtatta el nevezetes „nagyobbik” dekrétumát, amelyen a főpapok és bárók mellett számosan a nemességből is, ezzel – fogalmazása szerint – „totum corpus regni”, az „ország egész teste” részt vett a törvényalkotásban.

Albert – az első Habsburg a magyar trónon – uralmának megszilárdítását a főpapok és bárók mellett „az ország nemeseinek segítségétől” várva, nemcsak arra kötelezte magát, hogy „consiliis regnicolarum”, az „országglakosok tanácsával” fog élni az ország határainak megvédelmezése ügyében, hanem még arra is, hogy a rendek véleményét kérje a nádori tisztségre alkalmas személy kiválasztásakor, sőt – szinte népmesei fordulattal – még annak eldöntésében is, kik nyerjék el lányai kezét. A köznemesség országgyűlési súlyának növekedése tette lehetővé – mint ismeretes – Hunyadi Mátyás királlyá választását. Népszerűségében – az okok sokasága mellett – fontos szerepe volt az országgyűlés rendszeres összehívásának, a törvények növekedő számának, következetesebb végrehajtásuknak, mint korábban, és feltehetően tartalmuk érzékelhető minőségi javulásának. Hogy

erre igény jelentkezett, azt világosan tanúsítja például egy 1486. évi – témánktól távol eső intézkedést indokló – jogszabály. Eltörölve az ismételt perbe hívás mellett még birtokjogi ügyekben is alkalmazott „három vásáron való kikiáltás” útján történő hagyományos módját az idézésnek, leszögezte, miszerint ilyesmit „quandoquidem abusus et corruptela potius, quam lex dici potest” („inkább visszaélésnek és megrontásnak, semmint törvénynek lehet nevezni”).

A kötődés az „igazságos” Mátyás alakjához messzemenően járult hozzá a rendi-nemzeti elköteleződésnek az erősödéséhez, amelynek jellegzetes megnyilatkozása lett az a II. Ulászló idején hozott országgyűlési végzés, miszerint a trón megürülése esetén csak „honost” választanak királlyá. Ezzel egyértelművé tették, hogy az uralkodó és a rendek Európa-szerte jelentkező konfliktusát a király, majd a dinasztia „külhonos” volta erősen kiélezte.

A Jagello-korban a törvények számának gyors növekedésével nem tartott lépést minőségük javítása. Ez is vezetett 1504-ben annak elrendeléséhez, hogy „egyetlen dekrétum alakjába” öntsék legalább a II. Ulászló alatt kiadott valamennyi törvényt. 1507-ben pedig nemcsak megismételték, hanem alaposan meg is bővítették ezt a kívánságot, azt az igényt támasztva, hogy az ország „összes” hatályos jogszabályát foglalják egyetlen törvénykönyvbe. Ismeretes módon Werbőczy István volt az, aki erre nemcsak vállalkozni mert, hanem a maga módján képes is volt rá.

Nem tartom feladatomnak a Werbőczy-kérdésben – ha van ilyen – előadásom keretében állást foglalni. A történelmi személyiségek megítélésében egyébként is mind a berozsdásítást, mind a kifényesítést kerülendőnek tartva, a történész feladatát abban látom, hogy természetes megvilágításba helyezve vizsgálja alakjait. Amennyire ismerem Werbőczy politikai tevékenységét, nem tudom felmenteni az egyes manőverei, különösen a parasztháború megtorlásában játszott szerepe miatti személyes felelősség alól, hangsúlyozva ugyanakkor, hogy működésének történeti jelentősége nem merült ki ebben.

Amit most előadásom egyik sarokpontjaként szóvá kívánok tenni, az Werbőczy *Hármaskönyvének* szerepe abban az ambivalenciában, ami nem utolsósorban kiváltságőrző, és antiabszolutista tételei egybekapcsolódása révén – olykor torzult formában is – a hagyományőrző nemesség tudatában kialakult.

Werbőczy – korszerű jogfilozófiai elemzést érdemlő – művének előbeszédében alighanem a „duplex veritas”-nak, a „kettős igazság”-nak az averroizmusra visszamenő s egyes francia, illetve – az általa látogatott – olasz egyetemeken tovább élő alapelveit próbálta egyeztetni Aquinói Szent Tamás tanításával: „Duplex est autem iustitia, scilicet naturalis, et legalis. Naturalis est constans et perpetua voluntas, ius suum... unicuique tribuens... Legalis vero dicitur: lex, quae saepe mutatur, sine qua nec gentes, nec regna diu poterunt permanere,” azaz: „Az igazság pedig kettős, tudniillik természeti és törvényi. A természeti az az ál-

landó és örökké tartó akarat, amely... mindenkinek a maga jogát megadja... [Jogszabálynak] mondjuk a törvényt, mely gyakran változik, amely nélkül sem nemzetek, sem országok sokáig fenn nem állhatnak.” Werbőczy a „természeti jogról” leszögezte, hogy arra „a természet tanít minden élőlényt”, és az „minden nemzettel közös”. „Természeti jogon” azt értjük – fejtegette, azonosítva azt a kinyilatkoztatással –, ami „Mózes törvényében és az Evangéliumban van megírva”, hogy „ki ki azt cselekedje mással, amit akar, hogy mások cselekedjenek vele”.

Werbőczy – s ez igen fontos mozzanat – nem „természeti jogok” körébe tartozónak, hanem megváltoztatható „tétéles” törvények közé sorolta mind a rendi kiváltságokat, mind a törvényalkotás kívánatos eljárását. Műve II. részének 3. fejezetében foglalkozott a tétéles törvények megalkotásának módjával. Elismerte ugyan a király törvénykezdeményezési jogát, de teljes egyértelműséggel leszögezte, hogy „egyedül a maga akaratából és önkényesen... semmit sem rendelhet, hanem össze kell hívnia a népet [a következő fejezetben félreérthetetlenül kimondta, hogy ezen nem a köznépet, hanem a nemességet érti] ...vajon ...az ilyen törvények tetszenek-e vagy sem?, akik, ha igennel felelnek, az ilyen végzéseket... törvényekül tartjuk meg”. Elismerte a viszonyosságot, azaz a nemesség törvénykezdeményező jogát is, de ebben az esetben a törvény megszületését az uralkodó beleegyezésétől függőnek tekintve. Az „isteni és természeti jog” épségben tartását a törvényalkotó eljárás során feltétlen követelménynek nyilvánította, ugyanakkor óvta az uralkodót attól is, hogy „az egész magyar nemzet régi szabadságának ártalmára” próbáljon törvényt kezdeményezni, mellőzte azonban a „régí szabadság” fogalmának lényegét megragadó magyarázatot.

Noha Werbőczy a király, illetve a nemesség által kezdeményezhető törvényeket a változtatható tétéles jog keretei közé utalta, akarva-akaratlanul megmerevítette és egybekapcsolta őket, kimondatlanul kölcsönösséget teremtve a nemesség személyes és közéleti szerepét átható rendi jogok között. A „köznépet” kirekesztő *Hármaskönyvet* mind a nemesi előjogok, mind a rendi alkotmányosság szilárd fundamentumának tekintették, amely felett „az isteni és természeti jog” transzcendentális igazságai gyakorlatilag megközelíthetetlen magasságokban lebegtek. Hogy a rendi alkotmányosság meghatározó követelményei tétéles szerepeltetésének mennyiben volt része abban, hogy 1514-ben az országgyűlés elé terjesztett *Hármaskönyvet* II. Ulászló nem látta el pecsétjével (mondhatni: nem szentesítette), és nem küldte meg hivatalosan a megyéknek (mondhatni: nem hirdette ki), nem vonjuk tárgyalásunkba, amint azt sem, hogy az 1525-ben a hatvani országgyűlésen nádorrá választott Werbőczyt a következő évi, a Mohács előtti utolsó rákosi országgyűlés „hűtlennek”, illetve „pártütésben” részesnek nyilvánította.

De az már nagyon is érinti kérdésfeltevéseinket, hogy I. Ferdinánd trónra lépésétől kezdve a *Hármaskönyv* felülvizsgálatra szorulónak minősült a Habsburg uralkodó dekrétumaiban. Már 1527-ben törvény mondta ki, hogy szükséges

„kijavítani” a korábbi jogszabályokat „tizenhat jogtudós” és mások által. Mint hogy ezt elmulasztották, 1548-ban újabb törvény rendelkezett a joganyag felülvizsgálatáról s egy új bizottság által elvégzendő javításáról. Alig két év múlva „a megkezdett munka” gyors befejezését sürgette két törvénycikk is, „bőkezű” támogatást helyezve kilátásba érte. 1553-ban határnapot is kitűztek a *Hármaskönyv* – mert hiszen érdemlegesen mindvégig erről volt szó – felülvizsgálatának befejezésére és az új törvénykönyv jóváhagyására. Ennek ellenére még egy újabb évtized múlva is feladatként szóltak a *Hármaskönyv* hibáinak kiküszöböléséről, illetve az annak feladatát magára vállaló, Martin Bodenarius bécsi professzor közreműködésére is támaszkodó, hazai világi és egyházi kitűnőségek-ből álló bizottság munkájának, a *Quadripartitum*nak a jóváhagyatásáról. Kérdés, vajon a késleltetésben volt-e szerepe I. Ferdinánd kezdeményezéseinek, például a röghözkötöttség lazításában, netán éppen azoknak a továbbiaknak, amelyekkel az uralkodó pozícióját szilárdítani, a dinasztia utódlási jogát már ekkor örökösé tenni kívánták. Jogtörténet-kutatásunknak van még teendője e téren. De azt tudjuk – a kiváló Csizmadia Andortól –, hogy a *Quadripartitum* – valószínűleg először – csak 1798-ban került kiadásra, mégpedig Zágrábban. A *Hármaskönyv* viszont a 16. században legalább 12, a 17.-ben legalább 13, a 18.-ban legkevesebb 11 kiadást ért el együttesen, azaz latin, magyar, német, illetve horvát nyelven. Indokolt feltenni a kérdést, mikor és mennyiben a rendi kiváltságok tárházaként, magán- és büntetőjogi kézikönyvként s mennyiben államjogi ismeretanyaga folytán vált ennyire közhasználatúvá a *Hármaskönyv*. A meghatározók minden bizonnyal összeadódtak. Idézése, felhasználása mutatja, hogy gyarapította a magyar rendi ellenállás antiabszolutista érvkészletét.

Elterjedésében minden bizonnyal szerepe volt annak, hogy a 16–17. század fordulójára a hatalmi és hitbuzgalmi törekvésekkel telítődő Habsburg-abszolutizmus korábban nem ismert leplezetlenséggel nyúlt az erőszak eszközeihez. A példák sokaságából kiemelkedik, hogy 1600-ban a rendek panaszára, miszerint az előző országgyűlés végzéseit részben mellőzték, részben az uralkodó nevében halasztó hatályú záradékkal látták el – Sinkovics István előadása szerint – az udvari kancelláriától azt a feleletet kapták, miszerint a rendeknek ugyan lehetőségük van törvényjavaslatokat „szerkeszteni és engedelmesen előterjeszteni”, de a császárt mint Magyarország királyát illeti annak a joga, hogy azokat „javítsa, megváltoztassa”, illetve, ha akarja „tetszése szerint megerősítse”.

Ez, a magyar törvényhozást „kérelmező Landtaggá” minősítő állásfoglalás előhírnöke volt az 1604. évi dekrétummal történeteknek. Mint ismeretes, ezt a 21 cikkelyből álló dekrétumot I. Rudolf – a szájába adott fordulat szerint – „általunk kegyelmesen és szükségből hozzáadott” egy továbbit, a nevezetes „22. articlussal” teljesen önkényesen meg bővítette. Amint azt a korszak kutatói, Benda Kálmántól Péter Katalinig, egyértelműen kimutatták, ennek a cikkelynek az ön-

kényes beiktatása és a „tévtanoktól” megtisztítandónak nyilvánított Magyarország törvényhozását a vallásügy tárgyalásától eltolt tartalma – immár flagrális megsértéseként a törvényalkotás Werbőczy által rögzített és hagyományossá vált feltételeinek – meghatározó szerephez jutott Bocskaiék fellépésében. A sérelmek özönét felsorakoztató szerencsi országgyűlés támogatását elnyerve tettek hitet „Isten és az egész keresztény világ előtt, hogy utolsó lehetőségig védekezni fognak a király zsarnoksága ellen, mert a természetjog szerint ezt még az oktan állatoknak is szabad a veszélyben”. A Werbőczy által és ihletett deklarációban leszögezték, „ha nem lehet a törvények szerint élni, [...] akkor ez annyi, mintha egyáltalában nem lehetne élni”.

Bocskai maga – a Werbőczyre támaszkodók zömétől eltérően – némiképpen már arra is példa volt, hogy az antiabszolutista jogvédelem és a nemesi kiváltság-örzés társítását jogkiterjesztéssel is lehet ötvözni. Igaz, hogy anyagi erőforrásainak hiányát is pótlendő, de bátran élt a korai jogkiterjesztésnek a „hajdúszabadság” formájában kialakított eszközével. A Rudolf 1595., 1597., 1598., 1602. évi dekrétumaiban „fejvesztéssel”, teljes „kiirtással” fenyegetett hajdúk közül – mint az Rácz István kutatásaiból pontosan ismert – összesen közel 11 ezret juttatott kollektív nemességhez, letelepedésre alkalmas földhöz, kiváltságosok személyes érdekeit nem sértő, ám az ország és a rendek jogainak védelmezését erősítő rendelkezéseivel.

További mozzanatok részletezése nélkül sem kétséges, hogy a 17. században kiváltságaik biztosítása a nemesség politikai törekvéseinek egyik legfontosabbika volt, de korántsem a kizárólagos. Társult vele – az akkor többségében lévő protestáns nemesség helyzettudatát meghatározó módon – a vallásszabadság elismertetése, amint az testet öltött az 1606. évi bécsi, majd az 1645. évi linzi békében. A részkérdések fölé magasodó célként jelentkezett a török hódoltság felszámolásával az ország egységének helyreállítása és az abszolutista törekvések elhárításával törvényes önkormányzatának biztosítása a legfelkészültebbeknél, akik érvkészletükkel és műveltségükkel – amint azt R. Várkonyi Ágnes kutatási eredményeiből tudjuk – méltán nemzetközi figyelmet is keltettek.

A bizalmatlan rendek államjogi biztosítékokra törekedtek. A bécsi békében foglaltakat 1608-ban mintegy kiegészítve, nemcsak a Korona hazahozataláról, a kancelláriának és az ország kormányzásának magyar, a kapcsolt részekének „honlakos” kézbe adásáról döntöttek, hanem az országgyűlés struktúráját is egyértelműbbé tették, ideértve a városi képviselet szabályozását, illetve még laza ígéretet is téve további szabad városok képviseltetésére. Az alkotmányos biztosítékok közé sorolták a megkoronázandó uralkodó hitlevelének törvénybe iktatását. Először 1622-ben sorolták fel tételesen a koronázási „conditiókat”, „feltételeket”, amelyekkel lényegileg azonosakat iktattak törvénybe 1638-ban, illetve 1659-ben. A megkoronázandó uralkodónak vállalnia kellett országgyűlés tartását

„legalább” háromévenként, „törvénytelen bírói parancsok” mellőzését, viszont a törvényesek végrehajtásának előmozdítását és egy, már 1608-ban szabott feltétellel összhangban, az országgyűlés „előleges tudta és beleegyezése nélküli” háború indításának, illetve külföldi katonaság behozatalának tilalmát. Ugyanakkor felszólították az uralkodót a „patriának”, „ennek a lesújtott hazának” mint a „szomszédos országoknak és jólléte és megmaradása” szempontjából is oly fontos „pajzsnak és bástyának”, illetve a védelmi feladatok ellátását biztosító végváraknak a fenntartásáról való gondoskodására is.

A továbbblépés próbatétele – mint ismeretes – a 17. században következett be, amikor a Zrínyiék által sürgetett török elleni felszabadító háború elodázása és a rendi alkotmányosság megannyi újabb sérelme szervezkedéshez, majd vezető magyar és horvát személyiségek kivégzéséhez s végső soron a spontán és szervezett kuruc mozgalmakhoz vezetett. Annál is inkább, hiszen Bécs török ostromának kudarca nyomán a végre bekövetkezett s nyugati segítséggel megvívott felszabadító háború sikere a Habsburg-hatalmat féktelen önbizalomhoz juttatta. Nem érte be, hogy kívánságára és „hálából” az országgyűlés elismerte a dinasztia fiágának örökös királyságát, hanem – abszolutisztikus céljaival összhangban – megkívánta, hogy a trónörököst olyan eskü ellenében koronázzák meg, amely mellőzte a korábbi hitlevelek egyértelmű „feltételeinek” túlnyomó többségét. Ehhez járult, hogy az ország törvényeinek és a nemesség kiváltságainak megőrzését nemcsak az Aranybulla ellenállási záradékának látványos (önálló törvénycikkbe foglalt) mellőzése gyengítette, hanem – és sokkal inkább – az az úgynevezett „revíziós záradék”, amelynek értelmében az uralkodó csak annyiban kötelezi magát a törvényes jogok és kiváltságok biztosítására, amennyire „ezeknek értelmezése és használata iránt a király s a karok és rendek országgyűlésileg megegyeznek”. Ez tehát az uralkodó kötelezettségeit tartalmilag és időzithetőségüket tekintve is feltételelessé tette. Szinte feszélyező utalni is arra az ízléstelenségre, miszerint ennek az új záradéknak a kierőszakolásával lényegében egyidejűleg biztosította külön törvénycikk „az ország mágnásait és előkelőit”, hogy uralkodói engedéllyel birtokaikat örökös védettségű hitbizományokká nyilváníthassák. A revíziós záradékkal és a hitbizományi rendszer meghonosításával a Habsburg-hatalom az eladdig legnagyobb rést ütve Werbőczy antiabszolutisztikus és a nemesi örökösödés rendjében egyenlő szabályokat rögzítő jogrendszerén, a kiváltságosokra kifejezhető nyomáshoz, illetve megvesztegethetlenségükhöz teremtett a joggal való visszaélésre lehetőséget a maga és az akaratát érvényesítők számára.

II. Rákóczi Ferenc az ismert előzmények után és körülmények közepette olyan küzdelmet bontakoztatott ki a 18. század elején, amely nem csupán a „magyar nemzet régi sebeinek megújulása” miatt, hanem – mint azt R. Várkonyi Ágnes, Köpeczi Béla és mások minden korábbinál meggyőzőbben bebizonyították – a

belső fejlődés irányának meghatározásáért is folyt. Rákóczi nemcsak érzelmi indítékai folytán jutott el annak megállapításához, amit egy 1707. augusztus 20-án keltezett levelében írt, miszerint „a szabad királyságban nem az erő tartja fenn a hatalmat, hanem a nép”, amit nem gyengít, hogy hozzátette, ti. annak „szeretete”, hiszen ez összhangban volt a jogkiterjesztést is megkívánandó új struktúra megteremtését célzó elgondolásaival. Állameszményét – okkal feltételezhetően – Hollandia testesítette meg, s nemcsak azzal, ahogy a Habsburgok ellenében kivívta függetlenségét, hanem – amennyire ismerhette – jogrendjét és államberendezkedését figyelembe véve is. Katolikus létére állt a többségükben protestáns elégedetlenség élére, nemcsak amiatt, mert a felekezeti különbséget „csak névre, nem lényegre” vonatkozóan tartotta, hanem azért is, mert a vallási sérelmek a nemzetiekkel összefonódtak, s a lelkiismereti szabadság biztosítását ezért is közügynek tekintette.

A kutatási eredmények azt tanúsítják, hogy az 1703. évi brezáni kiáltványtól (és Bercsényi erre alapozott pátensétől) az 1708. évi sárospataki országgyűlésig – ha ellentmondásokat kiváltó egyensúlyozás közepette is – meg-megújuló kezdeményezésekre került sor a jobbágyság érdekében általában és közülük a katonáskodók érdekében különösen. A kiváltságosok megnyugtatása végett hozott intézkedések és kiemelten a közkárpótlásukra irányuló törekvések nem gyengítik annak megállapítását, hogy két nemzedékkel az úrbérrendezés és öttel a jobbágyfelszabadítás előtt ebben a kérdéskörben is Rákóczi volt az aki, aki a jogkiterjesztés irányába mozdult és mozdított. Még nyíltabban lépett fel – nem kevésbé kényes területen – a közteherviselést szorgalmazva. Rákóczit nem értetlensége, netán közömbössége a nemesi adómentességnek hajdan a nemesség felkelési kötelezettségében gyökereztetett hagyománya iránt készítette erre a lépésre, nem is csupán az indok avulásával szembesülő igazságérzete, hanem racionalitása is, amellyel nemcsak az általa vezetett szabadságküzdő, hanem egy megújítandó államszervezet szükségleteit is figyelembe vette.

Mindenesetre abban a csapdahelyzetben, amelyben Magyarország volt, tehát alávétetten egy dinasztikus hatalompolitikát abszolutisztikus eszközökkel, ám privilegizált vezetőréteg által irányított birodalomnak, ugyanakkor a rendi-nemzeti küzdő kibontakoztatását korlátozó kiváltságrendszerrel terhelt, Rákóczi volt az az államférfi, aki túlmutatott a Werbőczy-hagyományon, a rendi alkotmányosság és a kiváltságrendszer pusztá egyensúlyozásán. Rákóczi túlmutatott ezen, mégpedig a jogkiterjesztésre is alapozó, új alkotmányos nemzeti politika irányába haladást kezdeményezve.

A 18. század két nemzedéknyi viszonylagos békéje bizonyosságát adta annak, mire volt képes Magyarország földje és betelepülőkkel is gyarapodó népe. De aligha bizonyult ez a periódus alkalmasnak arra, hogy hatalmi rendszerét, politikai folyamatait legjobb hagyományaink közé soroljuk. A szatmári béke csak

nagyon áttételesen és korlátozottan járult hozzá a fejlődés igényelte új egyensúlyviszonyok kialakulásához. III. Károlyra, akinek a magyar szabadságharc feletti győzelem az ölébe hullott, teljes vereség várt a spanyol örökösödési háborúban. A megtorlás és a kegyelmezés sajátos társítása mellett uralmát alighanem ezért is a régi alapokon igyekezett helyreállítani Magyarországon. Hitlevele lényegileg az I. József koronázásakor 1687-ben kibocsátottnak felelt meg. Nem hiányzott belőle, sőt esküjében megismétlésre került a rossz emlékű „revíziós záradék”. Az államjognak ezt a relativizálását azonban – alighanem a negyedszázados keserű tapasztalatok folytán – a rendek nem tették teljesen korlátlanná. József vita után, a hatalom jóindulatának bizonyítékául végül is hozzájárult, hogy kivegyék az esetleges felülbírálat alól az uralkodó kötelezettségvállalását az ország területének megőrzésére és Magyarország megóvását a „más tartományokéhoz hasonló kormányzás behozásától”.

A nyugaton vereséget szenvedett uralkodó 1715-ben elfogadtatta a magyar országgyűléssel az állandó hadsereg felállítását elrendelő törvényt és a fenntartására szolgáló „hadiadót”, amely hamarosan a nemtelenek legsúlyosabb közterhévé vált a katonaaállítás kötelezettség mellett. A vallásügyben előbb csak az egyoldalú kedvezések politikája erősödött fel, majd a vallásháborúk békekötéseinek biztosítékaival mit sem törődve, éles fordulat következett be. III. Károly, szakítva a mintegy másfél évszázados gyakorlattal, elvonta a protestánsok vallásgyakorlatának jogi szabályozását az országgyűléstől, és uralkodói „jogával” – valójában hatalmával – élve bocsátotta ki a protestánsok rovására messzemenő korlátozóokat érvényesítő Carolina Resolútiót, ami magát a szatmári békemegállapodást is sértette. Tetézte a sérelmet, hogy az abszolutisztikus rendelkezést olyan bizottság készítette elő, amelynek egyetlen tagja, a magyar kancellár volt „honlakos”, elnöke és további négy tagja viszont birodalombeli császári alattvaló. De az uralkodó úgy látta, még a korábbiaknál is többet engedhet meg magának. Hiszen 1723-ban a rendi országgyűléssel a dinasztia nőági örökösödését is elfogadtatta, mégpedig olyan, százados államjogi vitákat gerjesztő megfogalmazásban, ami – Ember Győző indokolt jellemzése szerint – „nemcsak nyakatekert, hanem dondoui is volt”. Elfogadtatásának motivációival most nem kívánok foglalkozni, csak megemlítem, hogy a hagyományos antiabszolútizmus a törvény mikéntjében is talált kivetnivalót. Ugyanakkor aligha véletlenül, megint egyidejűleg, de ebben az esetben egyenesen Werbőczyre és *Hármaskönyvére* hivatkozva megerősítésre került a nemesség adómentessége az 1723. évi 6. törvénycikkben.

A folyamatok – mondhatni – lényegükben hasonlóan zajlottak Mária Terézia uralkodásának kezdeti szakaszában, amíg a véres háborúban Magyarország emberanyagának és erőforrásainak segítségével sikerült megszilárdítania trónját és – ha nem is csorbítatlanul – „birodalmi állását”. Hitleveléből nem hiányzott a „revíziós záradék” Damoklész-kardja, ha azt – apjától eltérően – esküjében nem

is ismételte meg. A nemesség kiváltságainak biztosítását ő is megígérte, sőt 1741-ben a jobbágy használta nemesi föld adómentességének törvénybe iktatásához is hozzájárult, ami a terhet a jobbágy „vállaira” hárítva, sokban ellentmondott későbbi „jobbágyvédő” politikájának. Említést érdemel, hogy a Német Lovagrendnek elzálogosított jász és kun települések kiszolgáltatott helyzetükben maguk kényszerültek a megváltásukhoz követelt óriási summa összegyűjtésére, az uralkodó és az országgyűlés csak tudomásul vette a befejezett tényeket. A hajdúvárosok pedig a század végéig várták sok bizonytalanság közepette az „ügyük” rendezését magához vonó uralkodótól öröklötnék tekintett szabadságuk biztosítását. Kiemelést érdemel a székely határőrség megszervezését kikényszerítő abszolutista rendelkezés, amely nemcsak a madéfalvi vérengzéshez vezetett, hanem nemzedékek során át a székelység kínzó terhelésével járult hozzá az erdélyi tragédiákhoz.

Mária Terézia két nagy háborúja között elérkezettnek látta az időt, hogy fokozza a Magyarországról befolyó kincstári jövedelmeket, méghozzá a magyar országgyűlés mellőzésével. Az örökös tartományok gazdasági érdekeinek egyoldalú pártolásával építette ki azt a vámpolitikai rendszert 1754–55-ben, amely hivatva volt kárpótolni a kincstárat a politikai kedvezésként fenntartott nemesi adómentesség miatt „elmaradt” jövedelmekért. Ugyancsak az országgyűlés mellőzésével, önkényesen vezette be, majd emelte rendszeresen a királynő a zsidókra előbb fejenként, majd – az eredményesebb behajtás érdekében – egyetemleges kötelezettséggel kivetett „türelmi adót”. Pénzügyi szempontok is szerepet játszottak abban, hogy Mária Terézia felségjoggá tette a céhprivilegiumok adományozását és megerősítését is.

Az 1763-ban nem éppen sikeresen végződött hétéves háborút követően olyan kormányzati periódus vette kezdetét a Habsburg Birodalomban, amely nem indokolatlanul kapta a „felvilágosult abszolutizmus” megnevezést. Hiszen Mária Terézia is csatlakozott a közép- és kelet-európai uralkodók egész sorának – eltérő következetességgű – azon kísérletéhez, amely a régiók államainak Nyugathoz mért lemaradását a gazdasági és társadalmi fejlődés élénkítésével, sőt támogatásával s ennek érdekében a kiváltságok korlátozásával próbálta csökkenteni. A kiváltságaiban nemrég még megerősített magyar nemesség 1764-ben döbbsen rá e fordulat igazi jelentőségére. Több-kevesebb tiltakozást már korábban is kiváltottak az uralkodó abszolutisztikus lépései, de szakításra vezető konfliktus csak az országgyűlés során bontakozott ki. Mária Terézia nemcsak a hadiadónak a nép terheit növelő újabb megemelését javasolta, hanem a tényleg korszerűtlennek bizonyult nemesi felkelés olyan haderővel való felváltását is, amelynek fenntartását értelemszerűen az így teljesen kötelezettségmentessé váló nemességre kívánta hárítani. A nemesség irányadó körei így beigazolódva látták gyanújukat, miszerint Kollár Ádám udvari könyvtáros – a királynő tagadása ellenére – kor-

mányzati sugalmazásra írta a felvilágosult abszolútizmust ünneplő, ugyanakkor a nemesség megadóztatásának szükségessége mellett érvelő könyvét. A rendek rossz hagyományokat követve hozzájárultak a hadiadó növeléséhez, de elutasították a kiváltságaik csorbításával fenyegető katonai reformot. Osztozott sorsában, azaz elutasításra került a királynőnek az a kívánsága is, miszerint nyilvánítsák szükségessé a földesúr-jobbágy viszony s annak keretében a jogok és kötelezettségek átfogó szabályozásának törvénybe iktatását.

A kiváltságos rendek elutasítását és annak nyomán az érdemleges előrelépés hiányát indoknak – némiképpen alibinek is – tekintő uralkodó így az ország lakossága túlnyomó többségének sorsát és a hazai gazdaság legfőbb ágazatának fejlődését meghatározó úrbéri kérdéskörben is abszolutisztikus döntést hozott. A már korábban előkészített, 1767 elején kibocsátott úrbéri pátens jobbágyvédő szándékáról, racionalitásáról, de a normativitást sokban bürokratikus mechanikussággal, a történelmileg kialakult regionális különbségeket jórészt mellőzve érvényesítő végrehajtásáról könyvtárnyi az értekezés. Az udvar „jobbágyvédő” politikáját némileg túláltalánosítva megítélő Kölcsey Ferenc 1833-ban megfogalmazott frappáns véleménye vonatkozott Mária Terézia Urbáriumára is: általa „az elnyomott... védve lehet ugyan, de felemelve ez úton sohasem!” Helytálló ugyanakkor történetírásunk – mondhatni általános – véleménye, miszerint II. József ugyancsak abszolutista jobbágyrendeleteivel kiegészülve, az Urbárium egészen a reformkorig a jogkiterjesztő lépések legfontosabbikának bizonyult. Megközelítően hasonló méltánylást érdemel a büntetőjog részleges reformja és az oktatásügyben hozott intézkedések java része. II. József türelmi rendelete pedig jórészt orvosolta a szabad vallásgyakorlat biztosítékait sértő hajdani abszolutista intézkedéseket, utat nyitva a továbblépésre is. Félreérthetetlen volt a köztelherviselés szükséges bevezetését célzó előkészületeknek a kiváltságosok eladdig olyanmire védelmezett pozícióit fenyegető irányultsága.

Mindez súllyal bírt azoknak a jozefinistáknak az érvelésében, akik a nemzeti és rendi sérelmeket (hitlevél kibocsátása és koronázás nélküli trónra lépés, az országgyűlés negyedszázadosssá kerekedő mellőzése, a függőség erősítése, a germanizálás stb.) panaszlok ellenében a jogkiterjesztésre, a korszerűsítésre és a racionalításra hivatkoztak. Klasszikus példáját nyújtva ennek a Benda Kálmán kutatásai óta indokoltan a legnagyobbjaink közt számon tartott Hajnóczy József, aki 1785-ben a rendi ellenállás érveit hangoztató Forgách Miklósnak – sajnálatát fejezve ki a sérelmek miatt – fejtette ki, miért támogatja II. József politikáját. Többek között azzal érvelt, miszerint a Corpus Juris tanulmányozása azt bizonyította számára, hogy a múltban „a király és a rendek úgy osztottak a paraszton, mint oroszán és farkas a bárányon”. A törvények alkotmányosságát pedig sokszor az teszi kétségessé, hogy a követek nyomásnak és befolyásnak engedve, túlnyomó többségükben mint „automata gépek” szavaztak, a törvények végleges szövegét pedig az ítélő-

mesterek állapították meg. Hajnóczy végül is – nem látva más kiutat a hagyományos abszolutizmus és a hagyományosan kiváltságörző rendek terméketlen küzdelméből – akkor még támogatandónak ítélte a felvilágosult abszolutizmust. Menten levonta azonban annak konzekvenciáit, hogy a lehetőségek korábbi pesszimista megítélése tévesnek bizonyult, amikor az évtizedfordulón Franciaországban a „harmadik rend” a kiváltságosok és az abszolutizmus párharcába való egyszerű beavatkozás, ide- vagy odacsatlakozás helyett a polgári átalakulás alkotmányos követelményeinek nyitott teret. Ehhez járult, hogy Osztrák-Németalföldön a Habsburg-hatalommal szembeforduló rendi ellenállás „belga” nemzeti függetlenségi és polgári alkotmányos törekvéseket ötvöző – s ennyiben az utat kereső magyar „álmodozóknak” mintát adó – szabadságküzdelemmé emelkedett, amely II. József fegyveres ellenlépéseit kudarcha fullasztotta. A végső soron két tűz közé került felvilágosult uralkodó a szerte a birodalomban fokozódó elégedetlenség közepette a rendi alkotmányosság helyreállításának híveihez hátrált, s néhány fontos kivétellel visszavonta abszolutista rendelkezéseit.

Nagy jelentőségű fordulat következett be a magyar gondolkodás történetében. Még egykorú vers is figyelmeztette „a magyart” arra, hogy „Boldog időt, utat, francia, belga mutat.” Másokkal együtt, de másoknál egyértelműbben ismerte fel a teendőket a lényeglátó Hajnóczy. 1790 márciusának legelején készen volt első politikai munkálata, amelynek legfontosabb megállapítása az volt, hogy a Werbőczy óta is folyamatosan a törvényalkotásból kirekesztett „köznép” érdekeinek érvényesülnie kell egy politikai megújulás keretei között ahhoz, hogy az alkotmányosságnak ne kelljen újra meghátrálnia az önkényuralom előtt. Érdekegyesítésre van szükség a politikai és törvényhozási kiváltsággal rendelkezők és „valamennyi nem nemes”, azaz „a nemzet legnagyobb része” között. Az érdekegyesítésnek korábban is felsejlő vágyálma csontosodott tudatos koncepcióvá és talált megvilágításra Hajnóczy államjogi munkáiban és legjobb kortársai fejtegetéseiben, mígnem a hatalom életüktől vagy a szólás lehetőségétől meg nem fosztotta őket.

A világ változásai és húzó hatásuk, a bűvópatakok hordozta felismerések azonban az idő múltával biztosították ennek a koncepciónak az elterjedését, sőt felszínre törését. Ennek az előadásnak a keretei közt nincs lehetőség felsorolásukra, még kevésbé bemutatásukra. Legfeljebb néhány fragmentumot idézhetek a folytatás hirdetőitől és a megújulás valóra váltóitól annak illusztrálására, mennyire reagáltak azokra a dilemmákra, amelyeket érintettünk.

Berzeviczy Gergely ismételten, de különösen az 1806-ban Göttingában az 1802. évi magyar országgyűlésről nevének elhallgatásával közölt német nyelvű írásában egyértelműen a kiváltságoktól való szabadulást jelentő polgári nemzetté válásban jelölte meg Magyarország kiszolgáltatása felszámolásának meghatározó feltételét. Ehhez szükségesnek ítélte, hogy politikájának alkotói ne csupán „a kao-

tikus Corpus Juris és Werbőczy alapján” gondolkodjanak. *Fejér György* paptanár, a neves történetkutató 1820-ban megjelent írásában arról beszélt, hogy amennyiben a nemesség osztozik a közterhekben, akkor „ama grádicsonkénti felemelkedés, mely az egész természetben uralkodik, hazafi alkotmányunkban szerencsésen fennmarad: az atyafi tagok egy testté szorosabban egyesülnek”. Felsőbüki Nagy Pál, a rendi ellenzék vezetője, az alsótáblán 1827-ben azt ajánlotta, fogadják be „a népet” az „alkotmány sáncaiba”. *Széchenyi István* – Benthamet magyarátván – beszélt 1830-ban arról, a *Hitelben*, hogy „Caligula, Nero nem iszonyúbb, nem fertelmesb” az elavult törvénynél, gondolatmenetében egybekapcsolva ezt a korszerű hiteltörvények ellenében Werbőczyre hivatkozók érveinek elhárításával. *Balásházy János*, az agrárreformok szorgalmazója, az évtizedfordulón úgy foglalt állást, miszerint „az idő s az újonnan kifejlődött szükségek nem óriási, hanem elementumi erővel bírnak, melyeknek ereje, ha bölcs törvények által nem szivárogtatik el, lassan-lassan szétpattantja a társaságot egybecsatoló láncokat, szétszaggatja a polgári egybekapcsolódás köteleit”.

Wesselényi Miklós az 1831-ben írott, de csak két év múltán publikált *Balítéletekről* című könyvében a Werbőczyn nevelkedett nemesek számára jól követhetően fogalmazva szólt arról, hogy „eredeti alkotmányunk fő kötése az uralkodó s nép közti kölcsönös kötés; meg van ebben mind kettőnek egymás iránti jus(s)ok és köteles(s)égök határozva, ... a mindeneket kötelező törvényt a két fél csak együtt, azaz: a nép képviselői által s uralkodó közmegegyezésből hozhatják. – Az uralkodó csak ilyen törvények szerint uralkodhatik s csak illy törvények végrehajtására van jus(s)a”. A múltba vetített társadalmi szerződés s vele az abszolutisztikus törekvések elhárításának biztosítéka már nem a Werbőczy módjára a „néppel” azonosított nemesség, hanem immár a nem nemeseket is magában foglaló „nemzet”, amelynek a nagy többségét kitevő parasztság számára is azt tartja kívánatosnak a nemesi reformellenzék politikusa, miszerint elérhetné, hogy „képviselei által” szava lenne „vármegye és ország dolgaiban”. Így lehet célt érni, azaz kiterjeszteni „a polgári alkotmány malasztait minden nyelvű, vallású s származásuakra egyenlően”.

E felismeréseket magukévá téve a belőlük következő teendőket megfogalmazók és realizálók, élükön *Kossuth*tal, síkra szálltak a hagyományossá vált dilemmák feloldásáért, bizonyítva, hogy a törvényesség és a jogkiterjesztés követelményei igenis egyeztethetők a polgári nemzetté válást és az ország önkormányzatát célzó alkotmányos megújulás folyamatában. Érvelésük tartalmát és mikéntjét jól példázza már a pályakezdő Kossuth 1833-ban rögzített szövege. Életszerűen elevenítette meg, hogy a reformjavaslatok vitatása során sűrűn hallotta „azon okot ... felhozni: jó, helyes, de Werbőczynek ez s ez a törvénye mást rendel, következőleg el nem fogadhatom. [Szónoki kérdésként csatolta hozzá saját reflexióját:] Mellyik Isten ütötte fel Werbőczynek régi könyvére az örökkévaló igazság azon

díszjelét, melly csak az örök természet örök könyvét illetheti?” S feleletéhez menten kapcsolódik a természetjogit közjogival társító érvelés a nem nemeseknek a nemzetbe, a Szent Korona „tagjai közé” emeléséről, illetve a szabadságjogok ki-terjesztésének a társadalmat, a nemzeti közösséget gyarapító, erősítő voltáról: „A szabadság olly kimeríthetlen kincs, melly azáltal, hogy véle többen osztoznak, sem fogy, sőt nő, sőt erősödik.” Majd utalva a belső feszültségekre s arra, hogy a cári hatalomban megtestesülő abszolutizmus „irtózatossá rémként fenyegeti Európa constitutionalis létét”, a gondolatsort azzal fejezte be, miszerint „csak elfogultság nélkül fontoljuk meg politikai állásunkat, vessünk egy önmeghiúsítástól távol tekintetű országnak heterogen elemeire – nem hiszem, hogy aki trónusunk hatalmának s nemzeti függetlenségünk szabadságának igazi barátja, aggodalmamban ne osztozzék, s hazánk lakosainak a polgári lét köteleivel szorosra kapcsolandó egyetemülését ne kívánja”.

A fordulatot a hagyományok megítélésében nosztalgiától sem mentes ironiával így fogalmazta meg a jogász *Gosztonyi Miklós* 1847-ben: „Tisztelt ősi kalauzunk, Werbőczy István! Üt már az óra, szenderedj örök álmadra, és a századokon keresztül hatott nem egészen dicstelen működésed teréről térj az elmúltak sorába – a dubietások centuriájával és a centuriák dubietásával.”

A reformkor és 1848/49 a korábban kizárt „köznépnek” a nemzetbe emelését hagyományaink átlényegítőjévé és továbblépésük meghatározójává tette mind a fejekben, mind a lelkek mélyén, képessé formálva befogadóit, hogy átmentsék az egymásba kapaszkodó önkény és kiváltság új és új színeket öltő restaurációs kísérleteinek korszakain. Az élő és az eljövendő nemzedékek öntudatától és bátorságától függ immár, hogy a parlamentáris kormányzati rendszerre alapozott magyar jogállam mindenkor alkotmányos gyakorlatában következetesen érvényre jussanak megújult nemzeti és demokratikus hagyományaink.

A Nemzeti hagyományok időszerűsége

„A hagyomány nem olyasmi, amit valaki megtanulhat, nem fonál, amelyet tetszés szerint föl lehet venni – éppoly kevésbé az, mint ahogyan az őseinket sem választhatjuk meg. Akinek nincs hagyománya, de szeretné, ha volna, olyan, mint a boldogtalan szerelmes.”

(Ludwig Wittgenstein)¹

„A hagyomány értelme a lelki összpontosítása. Minden »tovább lépés« lényege szétszórás, hatalom és egyúttal a saját középpont elhagyása.”

(Wilhelm Furtwängler)²

„A hagyomány, mely megszólít bennünket – a szöveg, a mű, a történeti emlék – maga is kérdést tesz fel, s ezzel nyitottá teszi vélekedésünket.”

(Hans-Georg Gadamer)³

Elképzelt közösség

Lehet-e egyáltalán érdemlegeset mondani nemzeti hagyományainkról az irodalomban a 20. század legvégén? Van-e Kölcsey tanulmányának bármi időszerűsége? Nem igaz-e, hogy amit a *Himnusz* költője a múltban hiányolt, azt ma egyedül a múltban lehet megtalálni? A történésznek talán kapóra jön, hogy a 20. század utolsó évében a magyar reformkor politikai örökségének érvényességére emlékeztessen. Az irodalmár sokkal nehezebb helyzetben van, amikor a nemzeti hagyományok mibenlétét próbálja értelmezni.

1 „Tradition ist nichts, was Einer lernen kann, ist nicht ein Faden, den Einer aufnehmen kann, wenn es ihm gefällt; so wenig, wie es möglich ist, sich die eigenen Ahnen auszusuchen. Wer eine Tradition nicht hat und sie haben möchte, der ist wie ein unglücklich Verliebter.” Ludwig Wittgenstein: *Vermischte Bemerkungen*. Chicago, The University of Chicago Press, 1984, 76.

2 „Der Sinn aller Tradition ist Konzentration des Seelischen. Das Wesen allen »Fortschritts« ist Zerstreuung, Macht und damit Verlassen des eigenen Zentrums.” Wilhelm Furtwängler: *Aufzeichnungen 1924–1954*. Wiesbaden, F. A. Brockhaus, 1980, 264.

3 „Das Überlieferte, das uns anspricht – der Text, das Werk, die Spur – stellt selbst eine Frage und stellt damit unser Meinen ins Offene.” Hans-Georg Gadamer: *Wahrheit und Methode: Grundzüge einer philosophische Hermeneutik*. 5. Aufl. (durchges. u. etw.) Tübingen, J. C. B. Mohr (Paul Siebeck), 1986, 379. *Igazság és módszer*. Ford.: Bonyhai Gábor. Budapest, Gondolat, 1984, 261.

A társadalomtudósok az olyan közösségeket nevezik elképzeltnek, amelynek tagjai személyesen nem ismerik egymást, de meg vannak győződve arról, hogy összetartoznak.⁴ Így jellemezhetők például a vallási közösségek, bizonyos mértékig talán az egyes államok polgárainak együttese, az osztályok s a nemzetek is. Mindegyikük történeti képződménynek tekinthető. Az államok életében alighanem az uralkodócsaládok voltak a folytonosság legerősebb biztosítói, a többi esetben különösen becsült szövegek s afféle „nagy elbeszélések” alkotják az összetartó erőt. A keresztény a *Bibliát*, a mohamedán a *Koránt* tartja szent szövegnek, a munkásosztály örökségében Marx s követőinek egyes művei jelentették a kulturális kánon leglényegesebb részét. Az egyes nemzeteket is általában szövegekben alkották meg. A *Himnusz*, a *Mohács*, a *Zrínyi dala*, a *Parainesis* és a *Zrínyi második éneke* mellett a *Nemzeti hagyományok* is döntően hozzájárult a magyarság önmagáról kialakított képének megformálásához.

A nemzet és az osztály lényegében a vallási és az uralkodóház jegyében elképzelt közösségek hanyatlásakor, azoknak mintegy ellenlábasaként jelent meg. Az egységes kereszténység összekapcsolódott a latin nyelvűséggel, melynek háttérbe szorulása óhatatlanul is maga után vonta a keresztény közösség s az általa teremtett írott kultúra egységének megbomlását. I. (Stuart) Károly, majd XVI. (Bourbon) Lajos kivégzése az uralkodóházak folytonosságának és tekintélyének csökkenését eredményezte. „A munkásnak nincs hazája” gondolat előbb a nemzeti közösség eszményének ellenképét hívta életre, majd úgy látszott, ki is szoríthatja azt. Jelenleg mintha megfordult volna a kétféle elképzelt közösség viszonya. Uralkodó és elnyomott osztályok szembeállítását kérdésessé tette a társadalom egyre bonyolultabb rétegződése. A társadalmi utópia egyetemessége a nemzeti közösségek elavulását ígérte. Egyelőre úgy látszik, megalapozatlan volt e jóslat. Ezért is lehet időszerűséget tulajdonítani a magyar költő *Nemzeti hagyományok* című tanulmányának. Korántsem állítanám, hogy e fordulat véglegesnek tekinthető, mint ahogy azt sem, hogy Kölcsey munkájának időszerűségét ne lehetne vitatni. Ha úgy tetszik, tanulmányomnak, azaz inkább kísérletemnek címe végére akár kérdőjelet is lehetne tenni, vagy így is leírható a cím: „A Nemzeti hagyományok időszerű(tlen)sége?”

Széchenyi lényegében megalkotni, kigondolni akart egy nemzetet. Kölcseynek és utóbb az e szempontból az ő nyomába lépő, az epikai hitelnek jelentőséget tulajdonító Aranynak kétértelműbb volt az álláspontja: ők a hagyományt részben megteremtendőnek vélték, részint keresték. Kölcsey a tapasztalatra építő (empirista) bölcsélet neveltje is volt, Arany pedig történeti helyzeténél fogva is köze-

4 L. pl. Benedict Anderson: *Imagined Communities*. London, Verso, 1983.

lebb állt a pozitívizmushoz. Mindketten jól látták, hogy a szigorú értelemben vett hagyomány elválaszthatatlan a szóbeliségtől.

Az írott kultúra új helyzetet teremtett. Ahogyan Nyíri Kristóf írja a hagyománynak a számítógépek korában tulajdonítható szerepéről írt, sajtó alatti könyvében: „Miközben (While) a nyomtatás megjelenésével (advent) a hagyományok szerepe veszített fontosságából, maga a kifejezés, a »hagyomány« szó [...] még tágabb jelentésre tett szert.”⁵

Amit nehéz félretenni Kölcsey előföltevéséből, körülbelül így összegezhető: a jelentős irodalom s talán kultúra is nem pusztán egyéni tehetség, de hagyomány, emlékezet dolga is, s hagyományt választani nem, csakis benne állni lehet. Olyannyira időszerűnek minősíthető ez az észrevétel, hogy még a legutóbbi évtizedekben dekonstrukciónak nevezett irányzat képviselői sem tudnak mást állítani. Jól felismerhető változataként egy hírneves amerikai irodalmár 1998-ban megjelent könyvéből idézhető a következő kijelentés: „Akik nem tanulmányozzák, arra vannak kárhóztatva, hogy megismételjék a történelmet, noha a tanulmányozás maga is az ismétlésnek egyik alakja (a form of repetition).”⁶

A legnagyobb költészet Kölcsey szerint „a nemzeti hagyományokból merített”, „a nemzethez közel áll”. A *Himnusz* költője csakis Homérosznál látta ennek az eszménynek a maradéktalan megvalósulását, s ez a véleménye abból a föltevésből származtatható, mely a távolabbi múltba vetíti vissza a nemzet jellemét, és a szóbeliséget többre becsüli az írott kultúránál. Bármennyire is tagadhatatlan, hogy a hagyománynak mint intézményesült ismerettárnak a szóbeliségben volt kitüntetett szerepe, mai tudásunk alapján némileg idejétmúltnak is lehet tekinteni azt a már Vico által is vallott s a romantikában döntő hatásúvá vált rögeszmét, mely mintegy az őstörténetből vezeti le a nemzeti kultúra lényegét. Amikor avultságot állapítunk meg, nem szabad felednünk, hogy ítéletünket a *Nemzeti hagyományok* megjelenése óta eltelt közel egy és háromnegyed évszázadban történetek határozzák meg. Ebben az időszakban régiség, szóbeliség, nemzetiség s hazafiság összekapcsolását különbözőképpen sajátították ki, más és más részleteket hangsúlyozván Kölcsey gondolatmenetéből.

Mielőtt eltúloznánk ezt a viszonylagos avultságot, nem szabad feledni, hogy Kölcsey tanulmányának a történelemtől adott értelmezésében sok az olyan vonás, amelyet nagyon is érvényesnek vélhetünk. Amikor a költő-értekező Ossziánra hivatkozik, az utókor önkéntelenül is érzékelheti, hogy a romantika kitalálta a múltat, hiszen „a hagyomány elenyészte megtilt bennünket, hogy a régibb kor sajátágai felől hitelesen értekezhessünk”. „A műveltség késő éveiben a régi

5 J. C. Nyíri: *The Stateless Society: Tradition in the Network Age*. 29. Köszönettel tartozom a szerzőnek, hogy rendelkezésemre bocsátotta könyvének gépirásos szövegét.

6 J. Hillis Miller: *Reading Narrative*. Norman, Oklahoma, University of Oklahoma Press, 1998, 8.

is a jelenkor vonásaival rajzoltatik” – jelenti ki Kölcsey, s ennek alapján megkockáztatható a föltevés, hogy gondolatmenetének leglényegesebb része nem a nemzetek életkorára, az anyanyelv valóságteremtő tevékenységére vagy a kultúrák viszonylagosságára vonatkozó megfigyelés, hanem annak sugalmazása, hogy a kultúrának elidegeníthetlen tartozéka a múlt, mert megszűnik a kultúra, ha meg nem történtnek nyilvánítják az előzményeket, vagy bármi korábbi kitörölnek.

Kölcsey eszmefuttatását külső s belső, fölszín és mélység, rövid s hosszú táv szembeállítása irányítja. Gyöngyösi István verseinek külsőségei rövid távon fölszíni hatást értek el, ahelyett, hogy Zrínyi mélyebb költészete lelt volna visszhangra. A tanulmányíró azt reméli, hosszabb távon érvényesülni fog a *Szigeti vészedelem* kisugárzása. Ez az érvelés magában rejtje a gondolatot, hogy az utókor szükségképpen átértékeli a múltat. Sőt, alighanem még azt a sokkal kényesebb sejtést is, hogy a siker nem okvetlenül esik egybe az értékkel. Gondolatmenetének ez a része időszerűbbnek, mert elhasználatlanabbnak minősülhet, mint a sajátak az őseredetivel s a népivel azonosítása, melyet utóbb eltorzítottak, sőt némiképp le is járatnak.

A *Nemzeti hagyományok* szerzője a kereszténységnek és a tudománynak nemzetek fölötti lényegét tulajdonította. E kettőnek ellenképét látta az irodalomban, melyről föltételezte, hogy elválaszthatatlan a nemzeti jellegtől. Az általa érzékelt kettősség utóbb sem veszített érvényéből. Annak ellenére nem, hogy a történelem irányváltásai jelentősen módosítottak az értelmezésén. A második világháború alatt például J. Huizinga szinte megismételte Kölcsey érvelését, csak hogy más előjellel. A kis államok védelmében a semleges Svájcban kiadott történetírói munkájában alig leplezett rokonszenvvel jegyezte meg a humanista tudósról és a keresztényről, hogy „A nemzetekre tagolódás számára valósággal a kultúrát zavaró akadályként jelent meg (Die Teilung in Nationen mußte ihm als die wahre Kultur vorkommen).”⁷ Napjainkban ismét más változatban jelentkezik e kettősség. A tudomány nemzetközi nyelvének s a nemzeti irodalomtörténet-írás örökségének a feszültsége sokféle alakban megnyilvánul. Erre a szembenállásra vezethetők vissza a nemzetközi irányzatok magyar irodalomtörténeti alkalmazásának nehézségei, sőt végső soron még abban is ennek az ellentétnek a hatását érezhetjük, mennyi idegennek nevezhető szakkifejezést használ a tudós. Lehet-e népnemzeti irányról beszélnünk, miként fordítható idegen nyelvre a „népi mozgalom” megjelölés, másfelől torzítás-e, ha Petőfit romantikus költőként, Adyt szimbolistaként, Esterházyt posztmodern íróként jellemezzük? Miként helyezhető el a nemzetközi irányzatokhoz képest Mikszáth vagy akár Arany életműve? E kérdések viszonylagos nyitottsága, sőt akár megoldatlansága jelzi, mennyire

7 J. Huizinga: *Im Bann der Geschichte: Betrachtungen und Gestaltungen*. Basel, Burg-Verlag, 1943, 162.

időszerű Kölcsey észrevétele nemzetközi tudomány s nemzeti irodalom feszültségéről.

Bármennyire árnyalt azonban Kölcsey felfogása a történetiségről, hozzá képest az örök értékek platonistának mondható rögeszméjének elfogadása szemléleti önellentmondást jelent. Amit Homéroszról mond Kölcsey, megfeleltethető Hume állításának, melyet *Az ízlés színvonaláról* címen 1757-ben kiadott értekezésében a következő módon fogalmazott meg: „Ugyanaz a Homérosz, ki kétezer évvel ezelőtt Athénban s Rómában aratott tetszést (pleased), még mindig csodálatot kelt Párizsban s Londonban.”⁸ Angol elődjéhez hasonlóan Kölcsey sem számol a Homérosznak tulajdonított művek értelmezésének megváltozásával, vagyis azal, hogy 1826-ban korántsem ugyanazt nevezték Homérosznak, mint kétezer évvel korábban. Itt érzékelhető, mennyiben különbözik Kölcsey felfogása a történetiségről a 20. század végének szemléletétől.

Nemzetjellem

Az elképzelt közösségek sorsáról mondottakból következik, hogy a nemzetiesség eszméje nem a francia forradalom után, Napóleon háborúinak ellenhatásaként és Herder ösztönzésére került előtérbe. Korábban, a fölvilágosodásnak nevezett mozgalom belső ellentmondásainak függvényeként terelődött a figyelem a nemzetjellemre. Emlékeztetőnek egyetlen, Magyarországon viszonylag gyorsan ismertté vált szerzőtől, Jean-Jacques Rousseau-tól idéznék két szövegrészt. Szándékosan nem a nyelvek eredetéről szóló értekezésre vagy a lengyeleknek küldött alkotmánytervezetre, a vitatott keletkezési évben készült *Essai sur l'origine des langues*-ra, illetve a *Considérations sur le gouvernement de Pologne*-ra (1772), hanem két olyan munkára hivatkozom, amely nem nyelvbölcseleti vagy közép-európai vonatkozású. Egyikük 1752-ben jelent meg. Szerves és szervetlen, saját és idegen, önálló s utánczó kultúra szembeállításának során a szerző a következő észrevételt teszi: „Ha Négerország valamelyik népének volnék a főnöke, kijelentem, hogy az ország határán bitófát állíttatnék föl, s könyörtelenül fölakasztatnám az első európai, ki be merészelne hatolni, s az első bennszülöttet, aki arra törekednék, hogy elhagyja az országot.”⁹

A második idézet *A társadalmi szerződés*ről tíz évvel később megjelent könyvből származik. Ezúttal Rousseau Nagy Péter cár példájával szemlélteti azt a nézetét, hogy az idegen minta követése zsákutca valamely nemzeti kultúra számára: „Péter utánczó lángelme volt, nem igazi lángelme, ki semmiből mindent teremt

8 David Hume: *Essays: Moral, Political and Literary*. Oxford University Press, 1963, 237–238.

9 Jean-Jacques Rousseau: *Discours sur les sciences et les arts*. Paris, Garnier-Flammarion, 1971, 117.

(qui crée et fait tout de rien). [...] Németeket, angolokat akart teremteni, holott oroszokat kellett volna.”¹⁰

Rousseau a kultúra egyetemességéről, illetve viszonylagosságáról széles körben folytatott vita összefüggésében fogalmazta meg véleményét. Igazán jelentős gondolkodó egyik álláspontot sem képviselte végletes formában, ám e kettős irányultság messzemenő következményekkel járt, s még napjainkra sem veszítette el időszerűségét. Pléh Csaba egy 1997-ben tartott előadásában így érzékeltette e szembenállás szélesebb körű érvényességét: „Az egyik oldalon, a racionalista oldalon állna tehát a konzervatív világkép, a mozdulatlan vagy legalábbis az érdeknek megfelelően elrendezett rendies társadalom és veleszületett szerveződésű elme, ugyanakkor univerzalizmus, a másik oldalon, az empirista oldalon pedig a változó világ, az autonóm egyének közötti szabadon alakuló emberi kapcsolatok és a kiindulópontként üres, hajlékony elme, együtt a korlátlan relativizmussal.”¹¹ A föltételes módot az indokolja, hogy elvonatkoztatásokról van szó. Minden eredeti gondolkodó másként nézett szembe e két kísértéssel, s más módon próbált választ adni a kérdésre: mennyiben egyetemes, illetve viszonylagos az emberi kultúra? Az idézetekhez legfőljebb annyit célszerű hozzátenni, az egyetemesség hirdetése korántsem szükségszerűen párosul maradisággal, hiszen a legtöbb utópiát az egy s osztatlan világtörténelem eszményének a jegyében fogalmazták meg; másfelől pedig a viszonylagosság könnyen járhat együtt a már létező értékek őrzésével.

Rousseau idézett megnyilatkozásai mintha ez utóbbi felfogáshoz állnának közelebb. Támaszkodott Montaigne s Montesquieu nézeteire, s talán Hume 1748-ban *A nemzetjellemekről* címmel kiadott értekezésével vitatkozott, amikor az angol bölcselelő által „természettől fogva alacsonyabb rendű” (naturally inferior) feketék példájával szemléltette az önmagából építkező saját és idegen mintát követő szervesetlen kultúra kettősségét.

A francia felvilágosodás Kölcsey által jórészt ismert képviselőinek – olyan gondolkodóknak, mint Montesquieu, Voltaire, Buffon, Rousseau, Diderot, Condillac, Helvétius vagy Condorcet – a kultúra egyetemes egységéről, illetve különféleségéről folytatott vitájával is összefüggésbe hozható a *Nemzeti hagyományok* kiindulópontja: „Egész nemzeteknek, szintúgy mint egyes embereknek megvagyunk az ő különböző koraik. Gyermekkorból virul fel ifjúságok, ifjúból érnek férfivá, s férfikornak erejét az öregségnek lankadása váltja fel.” E régi eredetű, már a klasszikus ókorban ismert, nagy hatású toposz kitüntetett szerephez jutott a 18–19. század fordulóján. Széchenyi számos esetben folyamodott hozzá,

10 Jean-Jacques Rousseau: *Du Contrat social*. Paris, Garnier-Flammarion, 1966, 82.

11 Pléh Csaba: *Hagyomány és újítás a pszichológiában. Tanulmányok*. Budapest, Balassi, 1998, 393.

meglehetősen következetlenül. Mai távlatból az ő bizonytalansága esetleg még indokolhatóbbnak is látszhat Kölcsey egyértelműbb állításánál. Más kérdés, hogy a múlt irodalomtörténészei – sokszor a legkiválóbbak is – lényegében a Kölcsey képviselte határozott célelvűséget próbálták érvényre juttatni.

Naplójának tanúsága szerint Széchenyi John Chetwoode Eustace *A Classical Tour through Italy in 1802* címmel 1815-ben, Londonban kiadott, négykötetes úti-könyve alapján értelmezte a nemzetjellem fogalmát. 1819. április 7-én Mes-sinában kelt följegyzésében a következőket idézi az említett munkából: „A nemzetjellem (national character), noha kétségtől az akarat s az éghajlat hatása alatt áll, nem ezeknek a következménye (effect). A közösség és az egyén (public and private) jellemének kialakulásában a kormányzás és a nevelés az alap és a tényleges ok (ground and efficient causes).”¹²

Amennyire át tudom tekinteni Széchenyi nem teljesen hozzáférhető életművét, legkorábban 1819. május 20. és 25. között Nápolyban készített jegyzeteiben érinti először a nemzetek korának a kérdéskörét: „Egy nemzet éppúgy keletkezik, ahogyan a gyermek születik – áthalad (gehet durch) a serdülő, ifjú, férfi s öregkoron és végül elhal – egyetlen különbség egy nemzet s egy ember halála között, hogy az ember porhüvelyét (Leichnahm) férgek eszik meg, és teljesen megszűnik létezni, egy nemzet élni megszűnt (verlebte) teste – hosszú évekig vergődik (fortvegetirt). – Hogy egy nemzet nagyvá válhassék vagy jelentéktelen maradjon, éppannyira függ a véletlentől, mint a neveléstől (Erziehung), amelyet gyerekeiben kapott.”¹³

Kölcsey természetesen nem ismerhette Széchenyi naplóját, annak a lehetőségét ellenben nem lehet kizárni, hogy a *Hitel* s a *Világ* szerzője a négy, illetve öt évvel korábban megjelent *Nemzeti hagyományok* érveire is támaszkodott, amidőn a „nemzetiség”-ről elmélkedett, s azt állította, a magyar kultúrának az a fő hiányossága, hogy ragaszkodik az elavulthoz, és fölszínesen utánoz: „Nemzeti eredetű szokásaink pedig éppen nincsenek, 's a' mik vagyunk, a' mit tudunk, csak utánzás következtében vagyunk 's tudjuk; a' mi éppen úgy van más nemzeteknél is, csak azon különbséggel, hogy mi utánzásainkban makacsul ragaszkodunk a' régihez, [...] csak felszínségeiket ruháztuk magunkra.”¹⁴

Megőrzendők-e vagy kifejlesztendők a magyarság sajátosságai? A *Világ* jól példázhatja, hogy Széchenyi még egyazon munkáján belül is többféle választ ad e kérdésre. „Magyarország egy régi vár; 's éppen azért mivel régi, sok javításra 's igazításra van szüksége” – állítja, majd alig egy lappal később kijelenti: „A' magyar egy gyermek nép, most semmi, de minden lehet, mert lelki 's testi erő rej-

12 Gróf Széchenyi István *Naplói*. I. Budapest, Magyar Történelmi Társulat, 1925, 577.

13 Uo. 629.

14 Gróf Széchenyi István: *Világ vagy is felvilágosító töredékek némi hiba 's előítélet eligazítására*. Pest, Fűskúti Landerer, 1831, 72.

tezik fiatal keblében.”¹⁵ A célkitűzés megfogalmazásakor oxymoronszerűen, együtt használja öregség s ifjúság metaforáját: „Vén fő fiatal vállakon, az kell hazánknak, az érdemel tiszteletet!”¹⁶ Mielőtt azt hinnők, hogy hagyomány és újítás ötvözésével megoldhatónak látná a jövőt, el kell ismernünk, hogy más alkalommal teljesen kizárta az ilyen kifejeletet, számolván a nemzeti jelleg teljes megszűnésével. 1844. október 3-án a felsőtábla ülésén például a következőket is mondta: „Lehet talán, hogy azok, akik helyünkbe ülni fognak, becsületesebb, okosabb emberek lesznek, de hogy magyarok nem lesznek, az előttem axioma.”¹⁷ Valószínű, hogy mindvégig foglalkoztatta a nemzetek életkorának gondolata, és többször is megfogalmazta azt a föltevését, hogy a nemzeti közösség voltaképpen az irodalom alkotása. A Döblingben papírra vetett *Por és sár* 1858. június 13-án keltezett részletében olvasható a következő eszmeifuttatás: „Mely egyén vagy nemzet fiataltsági évkorában nem hordott bizonyos valamit keblében, vérében, mit halandó soha tökéletesen kimondani még nem tudott, de Schiller, Alfieri, Moore, Berzsenyi, Vörösmarty és még több minden bizonynyal érzett, vagy legalább megihletve gyanított, sejtett, az ily nemzet [...] későbbi korában kalkulistagéppé sülyed és habár ki is fejt ezer anyagi kényelmeket, lelkesedhetése hamar megtörik, hahogy emberi szikratünemények által ébresztve, indítva, jókor fel nem eszmél.”¹⁸

A szerves és szervetlen alakulásnak efféle szembeállítására és a nemzetek életkorára vonatkozó föltevések a 19. század közepének nyugati szerzőinél is megtekinthetők. Példaként Taine-re, Renan 1848-ban írt *L'Avenir de la science* és 1848 és 1858 között keletkezett *De l'origine du langage* című értekezésére vagy Gobineau 1853 és 1855 között készült s utóbb hírhedté vált *Essai sur l'inégalité des races humaines* című fejtegetésére is lehet hivatkozni.¹⁹

Egészen más kérdés, van-e létjogosultsága napjainkban a nemzetek életkoráról elmélkedni. Ha így tesszük föl a kérdést, legtöbbször alighanem tagadó választ adunk. Gobineau említett műve jelzi, milyen torzulásokra is vezettek az emberi közösségek sokféleségéről szóló elméletek. Kicsit más viszont a helyzet, ha nem feledjük, hogy a nemzetek életkorának rögeszméje milyen erősen kapcsolódott a kultúrák különféleségének elismeréséhez. Spengler, Toynbee, Bergyajev, Valéry s Wittgenstein munkásságában is kimutatható a nemzetek életkorára vonatkozó föltevés. Sőt, nem lehet elhallgatni, hogy a szerves történet szemlélet némely változatai ma is mutatnak némi időszerűséget. Nemcsak arra gondolok, mennyi kiváló szerző vitatkozik arról, szerves bomlás okozta-e a Habsburg Monarchia

15 Uo. 101–102, 103.

16 Uo. XXIX.

17 Gróf Széchenyi István *Beszédei*. Budapest, Athenaeum, 1887, 358.

18 Gróf Széchenyi István *Döblingi Irodalmi Hagyatéka*. III. Budapest, Magyar Történelmi Társulat, 1925, 862–863.

19 Vö. Tzvetan Todorov: *Nous et les autres: La réflexion française sur la diversité humaine*. Paris, Seuil, 1989, 154, 174.

végét vagy akár a történelmi Magyarország megszűnését. Általánosabb összefüggésekre is lehet hivatkozni. Spengler felfogása például érintkezik az Európa-központúságnak napjainkban olyannyira erős bírálataival. Jellemző, hogy az Európai Unió által kiadott *L'Europe en formation* című folyóirat 1997-ben hosszú tanulmányban méltatta Spengler örökségét.²⁰

Torzító egyszerűsítés volna tehát arra következtetni, hogy a nemzetjellem eszméjének kísértése elmaradottság jeleként értelmezhető a korai 20. század magyar kultúrájában. A gyermek és elaggott magyarság Széchenyi által kiélezett kettősége a keleti eredet gondolatával összekapcsolva Adynál is megtalálható. „Ősi nép vagy és jöttment” – ahogyan „A magyarság titkai” sorozat *Gőzösről az Alföldre* című első költeményében olvasható. A Kölcsey gondolataival küzdők sora is hosszú Erdélyi Jánostól s Aranytól Horváth Jánosig, Babitsig, Kosztolányiig, Szabó Dezsőig, Laczkó Gézáig, Németh Lászlóig, Hamvasig, Prohászka Lajosig, Győrffy Istvánig, Karácsony Sándorig, sőt Gulyás Pálig, Révai Józsefig s napjaink írói közül Márton Lászlóig. Mindezeknél a szerzőknél kimutatható a *Nemzeti hagyományok* alkotó el- vagy félreolvasása. A rejtett kapcsolódások még akkor is észrevehetők, amidőn a főlzínen inkább ellentét látható. Ha Kölcseyvel szemben fölhozható a kifogás, hogy a külső hatás és a belülről kiinduló szerves fejlődés szembeállítását maga is idegen szerzőktől vehette át, még inkább furcsa, hogy az ugyanilyen szembeállítást megfogalmazó Németh László már-már a „híg magyarok” közé sorolta elődjét. A *filozopter az irodalomban* szerzője A magyar irodalom *sajátos arca* címmel 1934-ben kiadott röpiratában Babits két évtizeddel korábban megfogalmazott véleményét visszhangozta, azt állítván a kiegyezés utáni hazafias költészetről, hogy „e művek eszközeikben, érzésvilágukban, igen sokszor formáikban is a nemzetközi irodalom zörgései”.²¹ Sőt, alighanem még azt sem helytelen szóba hozni, hogy Révainak a magyar irodalom hangsúlyozottan közösségi jellegére vagy a polgári kultúra hiányára vonatkozó kijelentései meglehetősen emlékeztetnek Szabó Dezső hasonló nyilatkozataira.

Kölcsey tanulmányával nagyon sok későbbi megnyilvánulás hozható összefüggésbe. Ezúttal csak két olyan jelentős értekezésre térek ki, amelyek nélkül ma már aligha lehet olvasni a fejtegetéseink kiindulópontjaként választott szöveget.

Horváth János 1908-ban *Irodalmunk fejlődésének fő mozzanatai* címmel megjelent tanulmányában többször is hivatkozik elődjére, s így módosítja Kölcsey kiinduló állítását: „A fejlődés fokozatai tehát ezek: magyarországi, magyar nyelvű, nemzeti tartalmú, művészi. Minden utóbbi fokozat a megelőzőnek szűkítése.”²² Az sem tagadható, hogy Horváth későbbi munkái képviselik a legmagasabb ren-

20 Mireille Marc-Lipiansky: „Crise ou déclin de l'Occident?” *L'Europe en formation*, 306–307, automne-hiver 1997, 47–79.

21 Szabó Dezső *füzetek* 3. Budapest, Lúdas Mátyás kiadás, 1934, 11.

22 Horváth János: *A magyar irodalom fejlődéstörténete*. Budapest, Akadémiai, 1976, 16.

dű megvalósítását egy olyan irodalomtörténeti eszménynek, amely az irodalmat a nemzetjellel belső kibontakozásának megfelelő, célelvű folyamatként jeleníti meg. Ennek az önelvűségnek egyik bizonyítéka, hogy Horváth ugyanúgy belső kezdeményezésre igyekezett visszavezetni a magyar romantika, mint később Németh László a magyar fölvilágosodás kialakulását.

Egészen másként közelített Kölcsey munkájához Babits *Magyar irodalom* című eszmefuttatásában, mely szerzője állítása szerint 1913-ban keletkezett. A korábbi gondolatmenet némely alkotórészeit átvette, másokat viszont hallgatólagosan időszerűtlennek nyilvánított, amidőn így érvelt: „a nemzeti karakter *világirodalmi* értéket csupán az irodalom egészének adhat és sohasem az egyes műveknek. [...] Míg tehát egy irodalomnak, *mint egésznek*, értéke annál nagyobb a világirodalomban, [...] mennél kifejezettebben külön nemzeti karakterrel bír: addig, megfordítva, valamely *egyes* műnek világirodalmi értéke annál nagyobb, mennél általánosabban emberi vagy európai eszközöket használ kifejezésre.”²³ Babits hangsúlyozza a magyarság sokszínűségét, de megtartja a nemzetjellel fogalmát. Érti, hogy Kölcsey felfogása a nemzeti hagyományokról a huszadik század elején már maradtalanul nem érvényesíthető. Ezért vezeti be a „*sui generis*” világirodalmi értéket. Miközben Arany örökségére támaszkodva árnyalni igyekszik, olyan szembeállításokhoz folyamodik, mely mai szemmel nem kevésbé ingatag, mint a nemzetek életkorára vonatkozó előítélet: „Az igazi világirodalmi érdekű egybeolvadás az, amikor a forma (nem a külső, hanem a belső forma), a színek nemzetiek, a tartalom ellenben általánosabb emberi érdekű. Ezzel ellentétben áll a sablonos hazafias költészet, hol a tartalom egyoldalúan nemzeti, a formák ellenben a legszínesebbül kozmopoliták.”²⁴

Szerb Antal *Magyar irodalomtörténetéről* szokás azt hinni, hogy Babitsnál is következetesebben érvényesíti a világirodalom szempontjait. Való igaz, hogy ebben a könyvben inkább csak futólag van említve Kölcsey tanulmánya, s a fölépítés – az egyházi, főúri, nemesi és polgári irodalom egymásutánja – mintha zárójelbe tenné a nemzeti szempontot. A bevezetés azonban a Babits tanulmányában észrevehetőhöz hasonló ellentmondást sejtet: egyfelől „mindig a leginkább európaiak voltak a leginkább magyarok”, másrészt viszont: „Magyarnak lenni [...] az érzésnek és gondolatnak egy specifikus módját” jelenti, „ami ezer év értékeiből szűrődött le”, s az irodalomban ezt lehet keresnünk.²⁵ Indokolatlan volna azt hinni, hogy a munka egésze nem felel meg e kinyilatkoztatásnak. Tagadhatatlan, hogy Szerb általában a polgárosodás távlatából értékeli, de csakis a nemzeti jelleg érvényének megtartásával indokolható, hogy olykor kifejezetten elnéző a

23 Babits Mihály: *Esszék, tanulmányok*. Budapest, Szépirodalmi, 1978, I. 380–382.

24 Uo. 385.

25 Szerb Antal: *Magyar irodalomtörténet*. Második, átdolgozott kiadás. Budapest, Révai, 1935, 16, 7.

helyi értékekkel szemben. Egyetlen példaként Dugonics András legismertebb művének értékelésére hivatkoznék. „Az *Etelka* sok tekintetben közelebb áll Kisfaludy Károly és Vörösmarty nemzedékéhez, mint Kazinczy és Kármán.”²⁶ Noha az eredetileg hatkötetes akadémiai irodalomtörténetben már csak a szerzők nagy száma miatt is nehéz volna egyértelmű alapelvet kimutatni, nagy általánosságban mégis megállapítható, hogy a nemzeti önállóság és a társadalmi haladás eszményének óvatos egyeztetésében többnyire az utóbbi érvényesült elsődleges szempontként. Az *Etelka*, melyet Szerb Antal előremutató alkotásként fogott fel, ezért is minősült megkésettnek a sokszerzős összefoglalásban. A romantika előzményéről van-e szó vagy a barokk megkésett termékéről? Valamely alkotás értékét a nemzeti hagyományok avagy a világirodalom felől kell meghatározni? Az irodalomtörténet-írásnak olyan sarkalatos kérdéséhez érkeztünk, amellyel már Kölcsey is számolt.

A fejlődés mozgatói: eredetiség, nyelv és jövő

„A széles kiterjedésű műveltség korában az individualis nagyság tüneményei ritkábbak s kevésbé ragyogók” – olvasható a *Nemzeti hagyományokban*. Ez az észrevétel talán az *Émile* s az *Über naive und sentimentalische Dichtung* szembeállításait visszhangozza, s egyúttal sejteti, milyen lényeges Kölcsey számára a fejlődés elve, a „Bildung”, amely egyrészt szerves folyamat, másfelől viszont a természetitől a mesterséges állapothoz vezet. Képzelet s tudás ellentéte végigvonul a tizenkilencedik századon. Kölcsey az „eredeti” szó kettős értelmére is emlékeztetve veti föl a lehetőséget, hogy valamely kultúrának sajátosságát a korai időszakban lehet keresni, s mély aggodalmának ad kifejezést, vajon elegendő-e a magyar kultúra régisége ahhoz, hogy önállóságát megtarthassa a jövőben. Ez a megállapítás azt a föltevést rejti magában, hogy az idő múlásával, az eredetektől távolodással a közösség elidegenedik saját kultúrájától. Ugyanakkor a görögség példája arra is emlékeztet: a nagy kultúra eredetisége abban is rejlik, hogy önmagát ismeri föl az idegenben – a „soi-même comme un autre” a fő mozgatóereje. „Behatás” nélkül egyetlen kultúra sem életképes, „követés”-re viszont csak olyan kultúrában kerül sor, amelynek nem eléggé erősek a hagyományai.

Az elmondottakból sejthető, hogy Kölcsey gondolatmenetét nem is olyan könnyű megragadni vagy legalábbis egyértelműsíteni. Mintha azt sugalmazná, hogy valamely kultúra ereje abban mérhető le, mennyire képes hatni másokra, ugyanakkor azt is leszögezi, hogy saját és idegen viszonya kétféle lehet: utánzás vagy elsajátítás. Durván torzítanánk, ha azt állítanók, hogy a *Nemzeti hagyomá-*

26 Uo. 211.

nyok szerzője minden kívülről jött hatást egyformán ítél meg. Különbséget tesz termékeny és meddő kapcsolat között. A hódítók közül az arab kultúrát épített, az oszmán-török rombolt – állítja. A befogadó közeg magatartásánál is kétféle lehetőséggel számol: az elsajátítást a „szolgai követés”-sel állítja szembe.

Kölcsey és Arany számára még közös nevezőt jelentett az a felfogás, amelynek képviselője S. Varga Pál összegzése szerint „egy nyelvileg és szociokulturálisan önmagát összetartozónak tudó – nemzeti – közösség lelki-szellemi kifejeződésének tekinti az irodalmat”.²⁷ Önáltatás volna tagadni, hogy 1999-ben a világ már egyneműbb, mint volt a 19. században, ezért e szemlélet némileg veszített meggyőző erejéből, általános elfogadottságából. A *Nemzeti hagyományok* időszerűsége abban rejlik, hogy – az ókori görög kultúra eszményének fönntartásával – lényegében kizárta a kultúrák teljes viszonylagosságának a gondolatát, ám egyszerűs mind az egyetlen emberiség – egyetlen történelem eszményét is érvénytelennek tüntette föl. E két lehetőség egyidejű bírálata a legutóbbi évtizedekben is megfogalmazták. Paul Ricoeur például arra emlékeztetett *Történelem és igazság* című könyvében, hogy a fajelmélet jegyében fogant történetsszemléletnél nem kevésbé veszélyes a világtörténelem egységének hiedelme, melynek legújabb megnyilvánulása az amerikai életmód eszményének hangoztatása, mely nem ad lehetőséget a párbeszédre a világ többi részének történelmével.²⁸

Ha Babits nyomán olvassuk a *Nemzeti hagyományokat*, arra a következtetésre juthatunk, hogy valamely kultúra nemcsak az egység jegyében, hanem a föladatok sokszorosodása révén is fejlődik, s a nemzet számára a más kultúrákkal folytatott párbeszéd az egyik legnagyobb föladat. Megmaradni önmagunknak s türelemmel viseltetni mások iránt: ez a kettősség is fölismerhető Kölcsey eszmeifuttatásában. A „behátás” és a „követés” taglalásának nyilvánvalóan az a célja, hogy figyelmeztessen arra, a kultúrának a másik ismerete is előfeltétele. Az utókor ezt a fejtegetést akár Rimbaud híres állításának a fényében is olvashatja: „je est un autre” – ami nemcsak azt jelenti, hogy „én a másik vagyok”, hanem azt is, „a másik is én vagyok”. A kultúra közvetítés is; föltételezi azt a képességet, hogy az ember eltávolodjék saját közösségétől, és közeledjék a tőle idegenhez. Saját és idegen kettőssége nem okoz tudathasadást, ha párbeszéd alakul ki közöttük – ami természetesen nem zárja ki a szembenállást vagy összeütközést.

Lehetséges, hogy Madách kijelentése – „Mi a népjellem? – Rossz szokások.”²⁹ – akár a Kölcsey tanulmányának olyan átértelmezését is sugalmazza, mely a nemzeti kultúrában rejlő bezárkózás veszélyére hívja föl a figyelmet. Madách bírálata egyértelműbb, de kifejtetlenebb, mint Nietzsche érvelése, mely a nemzetjellem

27 S. Varga Pál: „...s az ember véges állat...” (A kulturantropológia irányváltása a felvilágosodás után - Herder és Kölcsey). Fehérgyarmat, Kölcsey Társaság, 1998, 92.

28 Paul Ricoeur: *Histoire et vérité*. Troisième édition augmentée de quelques textes. Paris, Seuil, 1964, 185.

29 Madách Imre: *Összes művei*. Budapest, Révai, 1942. II. 757.

eszményét megtartja, s a hanyatlást a beszűküléssel azonosítja: „Ha ugyanis egy nép előrehalad és növekszik, mindannyiszor szétfeszíti az abroncsot (Gürtel), amelyet addig *nemzeti* tekintélye adott, amennyiben megáll; elsatnyul, így újabb abroncs zárul lelke köré; a mind keményebbé váló kéreg olyan börtönt alkot, melynek falai egyre nőnek. Ha tehát egy népben nagyon sok a szilárdság, akkor ez annak a bizonyítéka, hogy meg fog kövesedni, s egészében *emlékművé* (Monument) válhatik, ahogy egy meghatározott időponton túl az egyiptomi azzá lesz.”³⁰ Másutt Nietzsche egyenesen azt sejteti, a hagyomány egyértelmű azonosíthatósága annak megszűnésével egyértelmű, mert „Egy világosan és teljesen tudott, ismereti jelenséggé feloldott (aufgelöst) történeti jelenség már halott annak a számára, aki megismerte”.³¹

A fejlődésnek ilyen értelmezése éppúgy nincs föloldhatatlan ellentmondásban a *Nemzeti hagyományok* szövegének későbbi részeivel, mint a nemzetjelleme- nek a nyelvből származtatása. Kölcsey ugyanis azt is hangsúlyozza, hogy „a magyarnak nyelve eredetiséget bizonyít”, és fájdalommal veszi tudomásul, hogy oly korban, midőn másutt az élő anyanyelven írtak nagy költeményeket, „a mi pécsi püspökünk római lanton zengette a nemzet előtt idegen, szép éneket”. A halott latin s az élő anyanyelv szembeállítását ismét az írott s beszélt nyelv, illetve a kultúra egyetemessége és különfélesége és/vagy viszonylagossága szó- szólóinak vitáját idézi föl, mivel – ahogyan Neumer Katalin írja – „az írás védel- mezői inkább az univerzalizmus, a szóbeliség védelmezői pedig inkább a relati- vizmus felé hajlottak”.³²

Ez a mozzanat lehetővé teszi, hogy akár Kosztolányi szemével olvassuk Kölcsey tanulmányát. Igaz, a *Lenni vagy nem lenni* nem Kölcsey, hanem Széche- nyi alakját idézi föl, alighanem azért, mert Kosztolányi a *Hunnia* szerzőjénél egyértelműbben találta meg annak a véleménynek a kifejtését, mely a nyelvben véli föllelni a nemzeti hagyományokat, mivel a nyelv elválaszthatatlan a tudat- tól. Széchenyinél végül is senki nem hirdette következetesebben, hogy mindenki tartsa meg saját nyelvét, mert a legkisebb nyelvi közösség eltűnése is pótolhatat- lan veszteség az emberiség számára. Ahogyan 1835. november 30-án mondta a felsőháza ülésén: „Nyelvemet Istentől vettem, és csak Istennek adom a halál- ban.”³³ Kosztolányi röpirata mintegy cáfolata annak, amit Babits a *Magyar iroda- lomban* állított: szerinte az anyanyelvi olvasó nem láthatja kívülről, „elfogulatla- nul” saját irodalmát. Noha az efféle értelmezés Széchenyire valóban inkább jel- lemző, lehetséges Kölcseynél is megtalálható, s talán ezúttal bővebb indoklás

30 Friedrich Nietzsche: *Menschliches, Allzumenschliches: Ein Buch für freie Geiste*. München, Wilhelm Goldmann, 1981, 412.

31 [Friedrich] Nietzsche: *Unzeitgemäße Betrachtungen*. Frankfurt am Main, Insel, 1981, 106.

32 Neumer Katalin: *Gondolkodás, beszéd, írás*. [Budapest,] Kávé, 1998, 38.

33 Széchenyi István válogatott művei. Budapest, Szépirodalmi, 1991, I. 692.

nélkül megállapíthatom: számomra ez a leginkább elfogadható megközelítés. A magyar irodalom e nyelvnek a hagyománya – föltéve, hogy a nyelvet igen tág értelemben vesszük, egy elképzelt közösség történeti emlékezetével, hiedelemrendszerével, életformájával világszemléletével azonosítjuk. Ahogyan Wilhelm von Humboldt hangsúlyozta egy évvel az ő halála s tízzel Kölcsey tanulmányának megjelenése után kiadott könyvében: a nyelv nem „ergon”, hanem „energia”, tehát a tőle elválaszthatatlan nemzeti hagyományok is „minden pillanatban elmuló valamik”-nek tekintendők.³⁴

Csábító volna e megnyugtató végkövetkeztetéssel zárni eszmefuttatásomat, de nem akarok elhallgatni egy olyan kérdést, amelyet nyitottnak, sőt jelenleg megválaszolhatatlannak vélek.

Legalábbis megfontolandó, vajon a nemzetek életkorára vonatkozó föltevést nem lehet-e összefüggésbe hozni a núvelt-műveletlen, civilizált-barbár, központi s peremvidéki kultúra, sőt akár a nagy és kis irodalom kettősségének elvetésével s a különböző kultúrák egyenjogúságának gondolatával. Ez a kérdés azért is időszerű, mert egyáltalán nem bizonyos, mi is lehet a jövője az Európai Unióba lépő országok nemzeti hagyományainak. E közösség egyik folyóiratában Helmut Wagner 1996-ban azt hangsúlyozta, hogy e kérdésre nincs válasz, a közösségbe befogadandó nemzetek esetében „többé-kevésbé a sötétbe ugrásról van szó”, mivel előre nem lehet tudni, az európai egység „sírja” vagy „életbiztosítása” lesz-e a nemzeti kultúráknak.³⁵

A magyar irodalomról külföldön kialakult kép a múltban is erősen és érthetően különbözött attól, ahogyan az anyanyelvi közösség értékelte saját örökségét, napjainkban azonban egyre gyakrabban fordul elő, hogy valamely magyarul író szerző könyveinek idegen nyelvterületen sokkal nagyobb sikere van, mint itthon. Természetesen ennek a fordítottjára is sok a példa. Megkockáztatható a kérdés: a jövőben mennyire érvényesülhet Kosztolányi igaza, mely szerint a magyar műveknél nem a külföldi fogadtatás a lényeges, hanem az anyanyelvi közösség véleménye, s mennyiben játszik majd szerepet az egyes nemzeti irodalmak megítélésében a nyelvek hozzáférhetősége, illetve a fordíthatóság. A magyar irodalom sorsát a múltban is erősen meghatározta a nemzetközi kultúra nyelveszménye, s ez nyilván a jövőben is így lesz. A latin nyelvű középkort követően, a reneszánsz idején sokan az olaszt, az 1789-ben kitört forradalom előtt s után a franciát tartották irányadó kultúrának, s nem alaptalanul. A Habsburg Birodalom fönnállásáig Közép-Európában kitüntetett szerep jutott a német nyelvnek. Napjainkra az

34 Wilhelm von Humboldt: *Gesammelte Schriften*. Berlin, Walter de Gruyter, 1968. VII. A Bevezetésnek egy részlete magyarul: *Wilhelm von Humboldt válogatott írásai*. Budapest, Európa, 1985, 71–115.

35 Helmut Wagner: „L'Union européenne: tombeau ou 'assurance vie' des nations européennes?” *L'Europe en formation*, 301, été 1996, 61.

angol emelkedett a nemzetközi nyelv rangjára. Angol szakos tanárként nem ismerek nagyobb szerzőt Shakespeare-nél, de tisztában vagyok azzal, hogy még e költő nemzetközi elismertsége is sokat köszönhet ennek a világméretű egységsülési folyamatnak. Ahogy a múltban Janus Pannonius és Temesvári Pelbárt latinul, Fekete János gróf, Martinovics és Teleki József gróf franciául, Széchenyi, Eötvös, Zalai Béla, Lukács György és Márai németül írt, nem lehet kizárni annak a lehetőségét, hogy a jövőben magyar szerzők gyakran folyamodnak majd az angol nyelvhez, nagyobb közönséget remélve.

A fölvilágosodás némely bölcslői állandó s egyetemes emberi természet létezésében hittek. „Ahol a jót, a szépet, az igazat látom, ott a hazám” – hangoztatta Renan, a fölvilágosodás örököseként.³⁶ „Franciákat, angolokat, németeket ismerek, embereket nem” – állította Joseph de Maistre a romantika jegyében.³⁷ Mivel az irodalmi művek többségét valamely elképzelt nemzeti közösség nyelven írják, az első lehetőség hirdetése könnyen az összemberi kultúra semmitmondó közhelyeihez vezethet. A második eszmény vállalása viszont több esetben is beszűkülést eredményezett. Kölcsey a két eszmekör együttes hatására írta a *Nemzeti hagyományokat*. A 20. század legvégén némelyek a fölvilágosodással kezdődött folyamat végéről, lezárulásáról beszélnek. Legalábbis kétféle ellenvetést fogalmaztak meg a történeti folyamatok szerves fejlődésként való értelmezésével szemben. Fukuyama a demokrácia világméretű győzelmét és így a történelem végét, Zaki Laïdi viszont a fölvilágosodás kudarcát, „értelem nélküli világ” eljövételét jósolta.³⁸

A jövő nyitott, s a magyar olvasóközönség társadalmi, politikai s kulturális vonatkozásban erősen megosztott: a különböző értelmező közösségek más és más irodalmi hagyományokat vallanak magukénak. Mivel a korábbi irodalomtörténészek „nagy elbeszélései” – a társadalmi haladás, a művészi újítás és a nemzetjellem kibontakozása – eddig érvényes alakjukban már aligha használhatók, kérdés, miféle célelvű folyamatnak lehet megfeleltetni a magyar irodalom történetét. E bizonytalanságérzés érezhető abban az értelmezésben, melyet Márton László adott Kölcseyről 1990-ben készült tanulmányában. Állítása, mely szerint a *Nemzeti hagyományok* szerzőjének „gondolkodásmódja példát és mintát ad arra, miképp élhetők meg egyéni sorsként az egyre virtuálisabbá váló közösség belső ellentmondásai”³⁹, nagy megértésre vall Kölcsey belső vívódásai iránt, de mintha figyelmen kívül hagyná azt, amit kiindulópontként hangsúlyoztunk: a nemzet sosem lehet tényleges, legfőljebb elképzelt közösség. Márton kétes értéket tulajdonít annak a Kölcsey-tanulmányában megfogalmazott eszménynek, mely

36 Ernest Renan: „Lettre à M. Strauss” (1870). In *Œuvres complètes*, I, 443.

37 Joseph de Maistre: *Considérations sur la France* (1797). Paris, Garnier, 1980, VI, 64.

38 Zaki Laïdi: *Le monde privé de sens*. Paris, Fayard, 1994.

39 Márton László: *Az áhítatos embergép*. Pécs, Jelenkor, 1999, 80.

„mindmáig meghatározza a magyar kultúra irányultságát, legfontosabb kérdés-feltevéseit és értékszempontjait: [...] a kollektív emlékezet védelmét, a történetnyomozás tragikus pátoszát és a világraszóló nagyság megjelenítését abban, ami sekélyes és jelentéktelen.”⁴⁰ Bármennyire szükségesnek tartom az idő- vagy térbeli vidékiesség s parlagiság kárhozzátását, nem tekintem kevésbé veszélyesnek, ha feledjük: értékelni többnyire csakis valamely közösség fönntartásának a távlatából lehet.

Vállalva a tévedés kockázatát, a jelenlegi helyzetben a közösségi emlékezet fönntartását tartom elsődleges célnak. „Minden kő, régi tettek helyén emelve; minden bokor, régi jámbor felett plántálva; minden dal, régi hősről énekelve; minden történetvizsgálat, régi századoknak szentelve: megannyi lépcső a jelenkorban magasabbra emelkedhetni; érzelmeiteknek, gondolataitoknak s tetteiteknek több terjedelmet, tartalmat és célrahatást szerezni; s egész lényetekre bizonyos nemesítő, saját bélyeget nyomni, mely nélkül mind az emberek, mind a nemzetek sorában észrevétlen fogtok mint parányi vízcsepp az Oceánban tolongani.” Igaz, hogy kissé avíttasak s ünnepélyesek az ugyancsak 1826-ban keletkezett, *Mohács* című eszmefuttatásnak e sorai, ám a bennük megfogalmazott figyelmeztetést nem érzem időszerűtlennek. Az új közlési eszközök előidézte változások, a világ gazdasági és nyelvi egységesülése könnyen veszélyeztethetik a nemzeti hagyományokat fönntartó államokat s intézményeket. Képesek lesznek-e megőrizni önállóságukat az önvédelemre kényszerült nemzeti kultúrák? Jóslatra nem vállalkozom, csakis Széchenyi intésére emlékeztethetem azokat, akik egymással összeegyeztethetetlen értékrendek mellett kardoskodnak, az eddigi örökség maradéktalan megőrzésére, illetve gyökeres megrostálására és ártrendezésére buzdítanak: „Mi olly gyarlók, olly igen homályban látók ‘s botor-kázók, egymáshoz ti türedelemnél józanabbat nem gyakorolhatunk; mert csak utóbb válik el, kinek van több igaza, ‘s ha van kárhozzatra méltó bűn, ítéletem szerint nincs nagyobb ‘a türedelemtlenségnél.”⁴¹

Kölcsey, Széchenyi, Ady, Babits és Kosztolányi ostromozta, mert föl akarta rázni a magyarokat. A 20. század folyamán a magyar irodalom roppant sokszínűvé vált, és az íróknak Krúdytól Krasznahorkaiig, Füst Milántól Nádasig, Kassáktól Kemenes Géfinig, Máraitól Bodor Ádámgig, Radnótitól Kovács András Ferencig terjedő sora annyira különféle életműveket hozott létre, hogy összességüket nehéz egyetlen egység részeként fölfogni. Korábbi korszakfordulók alkalmával, a reformáció, a romantika s a 20. század eleji modernség idején is írástudók fogalmazták meg a nemzeti hagyományok mibenlétét. Példájukból okulhatunk, de nem menekülhetünk a föladat elől, mely önállóságot igényel. Elődeinkhez hason-

⁴⁰ Uo. 72.

⁴¹ Gróf Széchenyi István: *Világ*, 54–55.

lóan nekünk is a megváltozott körülményekhez kell szabnunk az örökség átértelmezését. A nemzeti hagyományokhoz mint történeti tudatunk alapját képező folytonossághoz csakis úgy lehet hitelesen kapcsolódni, ha bíráló tárgyává tesszük őket.

„Az a’ mi valaha nemzetiségünk talpköve ‘s ereje volt, időjárával elbomlott, [...] ‘s a’ mi elmúlt, ne akarjuk azt megint életbe visszaidézni, mert lehetetlen – úgy mint elfolyt óráink se térnek soha vissza többé.”⁴² A *Hitel* szavai emlékeztethetnek arra, hogy az átértelmezés szükséges volta egyáltalán nincs ellentmondásban a múlttal, ellenkezőleg: szervesen következik az örökségből, melyet csakis akkor értünk meg, ha másként értjük, mint elődeink.

42 Gróf Széchenyi István: *Hitel*. Budapest, Magyar Történelmi Társulat, 1930, 325.

Konzerválni, restaurálni, rekonstruálni

A kulturális örökséggel való bánásmód a művészettörténetben

Korreferátumom címéül három olyan infinitívuszt választottam, amely alkalmas arra, hogy jellemezze a művészettörténet, de egyben a régészet és általában valamennyi, tárgyi emlékekkel dolgozó, múzeumi vagy műemlékvédelmi tevékenység mindenkori viszonyát a kulturális örökséghez.¹ Mindjárt az elején meg kell állapítanom, hogy e tekintetben nincs egységes gyakorlat; az diszciplinánként, az emlékek korától, becstől függően s a velük való tevékenység céljának megfelelően is eltérő.

Festmények, szobrok esetében általában a mester kezéből kikerült mű állapothoz ragaszkodunk. Amikor az emlékezetes szépművészeti múzeumi rablás során megsérült és restaurálásra szorult Raffaello *Esterházy-Madonnája*, sokan aggódtak az addig érintetlen kép sorsáért.² Picassót vagy Chagallt sem lehet „kijavítani”. De arra már ritkán gondolunk, hogy a görög vázafestészet híres remekeit többnyire töredékeikből rekonstruált vázákról ismerjük. A Szent Koronához még az egyébként indokolt vizsgálatok érdekében sem merünk hozzányúlni, nehogy valami visszafordíthatatlan történjék,³ s a koronázási palást egyszerű tisztításáért (tulajdonképpen egy alapos mosásért) is ki vállalná a felelősséget, ugyanakkor, amikor egy 19. századi női ruhát illik kifogástalanul

1 Vö. a Magyar Régészeti és Művészettörténeti Társulat 1997-es, e tárggyal foglalkozó első vitaülése kapcsán (a vita 1998-ban folytatódott): Marosi E.: A rekonstrukció a művészettörténetben. *Ars Hungarica*, 1998/2, 353–368. – A kérdés aktualitása nemcsak a műemlékekhez való viszonyunk, az építészeti önmeghatározása, a kulturális örökség problémáinak megfogalmazásából következik, hanem tagadhatatlanul számos más feladatból is, többek között sorozatos és nagy rekonstrukciókkal kapcsolatos akciókból: pl. a középkori templomok sorozatos restaurálásának, a középkori színhelyek (Esztergom, Visegrád, Székesfehérvár) emlékeinek nagy rekonstrukciójából. Egyes esetek kapcsán, kuratóriumokban, tervtanácsokban, olykor írott formában is, a vélemények eltérése máris nyilvánvaló. Kevésbé az elvek különbsége.

A művészettörténetészt nem tölti el maradéktalan boldogság a tömeges műemlék-rekonstrukciók láttán, mert bennük nemcsak a kreativitás alkalmait, hanem a forrásbázisa interpolációjára való tömeges kísértést is látja. Itt ezek a kérdések nem tárgyalandók, célunk inkább a tömegkultúra azon szintjének kijelölése volt, amelyen ez a tevékenység megfelelő visszhangra számíthat.

2 A zárójelentés: Mór Miklós: Remarques sur l'état antérieur des tableaux volés et récupérés de Raffaello Santi et de Jacopo Tintoretto; compte-rendu de la restauration des dégâts causés par ce vol. *Bulletin du Musée Hongrois des Beaux-Arts* N° 68–69, Budapest 1987, 103–129; Észrevételek Raffaello Santi és Jacopo Tintoretto elrabolt, majd visszakerült képeinek korábbi állapotáról; Beszámoló az utóbbi események során keletkezett károk helyreállításáról, i. m. 257–261.

3 Vö.: A maastrichti Servatiuschrein, valamint a kölni Dreikönigenschrein alapos restaurálása után az aacheni Karlsschrein munkálatainak irányítói még a „Restaurierung” kifejezést is gondosan kerülték, s gondot fordított-

tiszta állapotban vitrinbe helyezni. De pl. Batthyány Lajos golyó lyukasztotta mellényét sem lenne helyes „rendbe tenni”. A probléma abban rejlik, hogy míg egy zeneművet százféléképpen megszólaltathatunk a partitúra megváltoztatása nélkül, irodalmi vagy oklevélszövegek mindenféle interpretációja megkockáztatható anélkül, hogy átirnánk az eredeti dokumentumot, a szemléletes kvalitásában jelentést hordozó objektum interpretációja, rekonstrukciója többnyire éppen ezeket a kvalitásokat érinti.

A 19. század vége óta a műemlékvédelemben és általában a műalkotásokkal való bánásmódban a „Konzerválni, nem restaurálni!” jelszóval kifejezett alapelv vált uralkodóvá.⁴ Ez a parancs a 20. század elején szinte harci jelszóként számolt le a historizmus korszakának múltidéző, az antikvitas és a középkor stílusait hangsúlyozó és uralkodóvá tevő, másokat – különösen a barokkot – az összképből kigyomláló restaurátori teljesítményeivel. Ez összkép ideális, internacionális érvényű mintaképe a 19. századvég Párizsának városképe vagy a wagneri színpad Gesamtkunstwerke. A vele való, a modernségnek utat nyitó leszámolást pl. Nietzsche fogalmazta meg, amikor a történelmi emlékezéssel szemben a feledés szükségességét hangsúlyozta.⁵ Az alapelvet senki sem vonta kétségbe, alkalmazása azonban esetről esetre szakmai-etikai kérdésekkel konfrontálta a művészettörténészt, a műemléki és a múzeumi szakembert. Ezek a konfliktusok mindenekelőtt abból következnek, hogy egyikük sem légüres térben, hanem államok és társadalmak szolgálatában és képviselőjében dolgozik.

A csak konzerválásra szorítókozó beavatkozás elvileg a történelmi maradványoknak szelekció nélküli, azok ránk hagyományozódása egész folyamatának nyomait megőrző továbbadását jelenti. A 20. század azonban e steril követelménnyel szemben másféleképp is konfrontál bennünket. A poraiból rekonstruált varsói Óváros és királyi palota éppúgy a politikai és a nemzeti reprezentációs motiváció példája, mint a budai Vár is, s a jelenkor ismert, a múltat korrigálni szándékozó, váratlannak mondható fejleményei közé tartozik az egykor már romjában intő emlékké nyilvánított drezdai Frauenkirche, a csak a honeckeri Palast der Republik rovására felépíthető berlini Schloß rekonstrukciójának szán-

tak arra, hogy a művet történetileg „nőtt” állapotában hagyják. Az 1982-ben a munka részvevői számára kidolgozott vezérfonal bevezetője szerint: „Aufgabe und Ziel aller Maßnahmen am Karlsschrein ist seine Sicherung und Konservierung” – továbbá: „grundsätzliche Voraussetzung ist die Bewahrung und die Sicherung seines Bestandes, sie erlaubt keine Eingriffe in seine Substanz und schließt jegliche Art von Rekonstruktionen und anderen Veränderungen, auch Neu- und Nachvergolden, Ausbeulen, Nachtreiben, Ergänzungen, Entfernung von vorhandenen älteren Ergänzungen und Änderungen früherer Zeiten generell aus. Sämtliche am Schrein getroffenen Maßnahmen müssen reversibel sein.” – Az eljárást és a – mutatis mutandis valamennyi műalkotás kezelésére érvényes – alapelveket dicséri: Renate Kroos: Der Schrein Karls des Großen, Bestand und Sicherung 1982–1988 (recenzió). *Kunstchronik*, 1999, Juli, 302–309; idézetek: 302.

4 Denkmalpflege. Deutsche Texte aus drei Jahrhunderten. Hrsg. N. Huse. München, 1984.

5 Nietzsche, Friedrich: Vom Nutzen und Nachteil der Historie für das Leben, 1873. Magyarul: *A történelem hasznáról és káráról*. Budapest, 1989.

déka. Nemcsak ízlésvitát, hanem az egész történelemértelmezés viharát is kiváltotta az évtizedekig a fasizmus áldozatainak emlékhelyévé átértelmezett berlini Neue Wache s a környezetében létrehozott politikai kultuszhely ügye. Mindez egy látszólag ártalmatlan és közömbös fogalomnak, az emlékek a változások légkörében történt politikai aktivizálódásával, az emlékmű, illetve a műemlék jól megkülönböztethető határvonalának hirtelen elmosódásában fejeződött ki. A szobordöntés és -eltávolítás, a címer- és utcanévtábla-csere jelenségei előttünk is jól ismertek.⁶ A politikai motiváció mellett azonban a médiumok, a turisztikai és a kiállítási iparág megkövetelte, magasabb ingerküszöbre kiszámított szemléletességigények is megteszik hatásukat. Két évvel ezelőtt a német művészettörténészek kongresszusa pl. a rekonstrukció kérdését az Inszenierung összefüggésében vitatta, jelezve, hogy a hatásos összkép mára nemcsak a Disneylandekben, hanem műemlékek és kiállítások tálalása esetében is kötelező igénnyé vált.⁷ A feltárásain, monográfiáin és adatbázisain, kritikai corpusain dolgozó szolid kutatót hivatali kötelmei ilyen alkalmakkal szembesítik a politikai elit és a management egészen másféle elgondolásaival. Az eredmény: egyfajta skizofrénia. Ha eddig olykor szemet is hunyhattunk e jelenségek fölött, ma, a piacgazdaság, a millenáris vállalkozások és a tömeges műemlék-rekonstrukciók idején nem lehet nem érzékelni jelentkezésüket. Szinte törvényszerű, hogy valamennyiben a szolid, óvatos álláspont marad kisebbségben.

Minden, a művészeti alkotásokkal kapcsolatos beavatkozás és manipuláció közkeletű kulcsszava a hitelesség. Nem véletlen, hogy ez áll minden hamisítási és valódiság-vita középpontjában, ehhez mérve vitatják a restaurálási és rekonstrukciós műveletek jogosultságát is. A hitelesség elve relatív mérték, valószínűsége, és nem abszolút bizonyosságon alapul; az ízlésünk és tudásunk számára elfogadhatót és elviselhetőt állítja mércéül, ezért teljesen korhoz kötött. Steindl Imre és Schulek Frigyes műemlék-restaurálásainak ideáljai még a kőfaragó-mesterség hagyományaiban gyökereztek, segédeiket a középkori páholyok mintájára szervezték, nekik kőfaragójegyet osztogattak. Tagadhatatlan, hogy a 1960–70-es évek magyar műemlék-restaurálásainak egy részére, pl. az előre gyártott gótikus vagy reneszánsz tagozatok rendeltetésének felismerésében, a betonpanelek kultúrája is rányomta bélyegét, s napjaink szerves építészete is érezteti már a hatását a műemlékek megjelenésében. A 19. század totális falkép-restaurálásai valójában Lotz Károly, Székely Bertalan, Körösfői Kriesch Aladár művészetéhez mérhető

6 V. ö. pl. *Bildersturm in Osteuropa, Die Denkmäler der kommunistischen Ära im Umbruch*. Eine Tagung des Deutschen Nationalkomitees von ICOMOS, des Instituts für Auslandsbeziehungen und der Senatsverwaltung Berlin in der Botschaft der Russischen Föderation in Berlin, 18–20. Februar 1993. ICOMOS – Hefte des Deutschen Nationalkomitees XIII, München, 1994.

7 Die Inszenierung des Kunstwerks. A XXIV. Deutscher Kunsthistorikertag négy referátuma. *Kunstchronik*, Dezember 1997, 657–681.

kreativitás tanúi; a mi nemzedékünk számára a történelmi hagyomány palimpszesztum-struktúráit Ország Lili táblaképei hitelesebben jelenítik meg, mint a legtökéletesebb restaurálás. Suum cuique – minden kor azt kapja, amit érdemel. Szilágyi János György mesteri elemzések során igazolta, hogy az antik festészeti hamisítványokban sorra megjelennek az egymást követő képzőművészeti korstílusok, s valamennyi akkor lepleződött le, amikor ezek ízlésnormái már nem érvényesültek.⁸ Nyilván sztoikus derűvel kísérte elméletének újabb keletű igazolását, azt, hogy a Szász Endre édeskésen eroto-klasszicizáló stílusa által előkészített közízlés készségesen befogadta a pseudo-Rippl-Rónai Zorka-képeket. Ez a szórakoztató történet csak azért vezetett előzetes letartóztatásig, mert a piacon már nem elegendő a hitelesség közmegegyezésen alapuló valószínűségi kritériuma. Mondják: minden relatív. De van objektív kritérium is; ez az eredetiség. A hitelesség mindig a recepcióra vonatkozik, az eredetiségé, az azonosságé a tárgy szubsztanciájára, s igenis vannak, kísérleti módszerekkel megtalálható objektív kritériumai. Éppen ezekre irányul a konzerválás elve.

Amikor mindezt emlékezetbe idézzük, valójában a művészettörténet metodikájában a 20. század eleje óta – legalábbis elméletileg – elfogadott, már-már az unalomig sulykolt alapelveket elevenítünk fel. Más kérdés, vajon az akkor megfogalmazott, azóta vizsgákon megkövetelt és plenumokon hangoztatott elvektől miben tér el a gyakorlat. Az elvek legkonzisztensebb megfogalmazását tudvalevőleg Alois Rieglnek köszönhetjük. Művét, rögtön megjelenése után, magyar recenzio is regisztrálta, magyarra csak 1998-ban fordították le.⁹

Ebből az alkalomból érdemes felidézni *A modern emlékkultusz lényege és kialakulása* című munka sorsának főbb mozzanatait. (A fordító ugyan már a címben „műemlékkultuszról” szól, de a szerző a német Denkmal szó valamennyi lehetséges jelentésével számolt.) Riegl, aki akkor egyetemi tanszékét (amellyel kapcsolatban, jellemző módon, arról panaszkodott, hogy „tulajdonképpen foglalkozás nélkül maradt”) éppen ismét gyakorlati, a bécsi központi műemléki bizottságnál betöltött hivatallal cserélte fel, 1903-ban egy műemléktörvény-javaslat részeként írta ezt a művet. A bizottság évkönyvében neve nélkül publikált, *Az ausztriai műemlékvédelem törvényes szervezetének tervezete* című szöveg három fejezetből állt. Az első tulajdonképpen a törvény preambuluma, az alkalmazott fogalmak definícióival, a második maga a törvényjavaslat, s a harmadik a végrehajtási utasítás, az ehhez szükséges intézményi reformjavaslatokkal. A három fejezet kétségtelenül Riegl műve, aki azonban saját neve alatt 1903-ban külön csak az első részt adta ki. Ezen alapult az 1929-es második kiadás Riegl *Összegyűjtött munkáiban*,

⁸ Szilágyi János György: *Legbőlcsebb az Idő. Antik vázák hamisítványai*. Budapest, 1987.

⁹ *A modern műemlékkultusz lényege és kialakulása*. In Alois Riegl: *Művészettörténeti tanulmányok*. Válogatta és az utószót írta Beke László, fordította Adamik Lajos. Budapest, 1998, 7–47.

amelyhez Hans Sedlmayr írt előszót *Die Quintessenz der Lehre Alois Riegls* címmel.¹⁰ Tehát a törvényt előkészítő munka is mintegy kvintesszenciájára redukálódott. Csak nemrég, 1995-ben, a bécsi Bundesdenkmalamt által gondozott kiadás hívta fel a figyelmet a mű eredeti rendeltetésére, szándékára és kontextusára Riegl utolsó éveinek termésében.¹¹

Alois Rieglről, akinek 1902–1905 közötti, az osztrák tartományokra Galíciától Dalmáciáig kiterjedő generalkonservatori tevékenységével kapcsolatos publikációit is megismerteti a bécsi kötet, mindenekelőtt az Osztrák–Magyar Monarchia mintahivatalnokának képét nyerjük. A bécsi művészettörténeti iskola kifejezett célja az állami hivatalok szakemberekkel való ellátása volt, s e célkitűzésnek szellemében Riegl – akit pedig csak halála napján neveztek ki udvari tanácsosnak – minden szellemi képességét, önálló tudományos meggyőződését még halálos betegen is ernyedetlenül ellátott hivatali kötelességeinek szolgálatába állította.

Ennek a jól fésült, cvikkeres, keménygalléros-kravátlis tudománytörténeti dédapánknak – aki persze épp csak negyvenhét éves múlt halálakor – alakja nem nélkülözi az anakronisztikus elmeket. Univerzalizmusa és az erre alapozott értékrend a császári állam utolsó szellemi virágkorának termékei közé tartozott, s nem utolsósorban a Zentralkommision für Erhaltung und Pflege der Kunstdenkmale alapításától fogva képviselt – s ezért Magyarországon gyanakvással fogadott – összmonarchikus küldetéstudatából eredt. Konceptiójának utópisztikus eleme volt az a remény, hogy a Monarchia liberális irányban reformálható és modernizálható, a nála még csak túl patetikusan hangzó s nem diszkreditálódott „emberi érzés” (Menscheitsgefühl) alapján.

Riegl univerzalizmusa egy meggyőződéses evolucionista felfogásából következik. Ebből ered hite az abszolút történetiségben is („Szigorúan véve nincs jelen”¹²), a művészeti értéknek az emberi nemre vonatkoztatásában is. 1905-ben, *A műemlékvédelem új áramlatairól* írott cikkében a mai természet- és környezetvédelmet előlegező gondolatokat adott közre: „A »természeti emlékek« kultuszában meghaladjuk az egoizmus végső – az emberiségre vonatkozó – maradványát is, s az emberiségen kívüli természet történéseiben való részvétel útján elérjük a teljes altruizmust. A természeti emlékek kultusza a leginkább érdek nélküli: egyebek között tőlünk, az élőktől áldozatot követel egy élettelen természeti tárgy érdekében.”¹³ Nyilvánvaló, hogy Rieglnél a történetiségnek nemcsak abszolutizálásáról, hanem egyben esztetizálásáról is szó van. Ennek felel meg az emlékérté-

10 Riegl, Alois: *Gesammelte Aufsätze*. Augsburg–Wien, 1929.

11 *Kunstwerk oder Denkmal? Alois Riegls Schriften zur Denkmalpflege*. Hrsg. Ernst Bacher. Studien zu Denkmalschutz und Denkmalpflege Band XV, Herausgegeben vom Bundesdenkmalamt Wien, Wien–Köln–Weimar, 1995. – A műnek és Riegl műemlékvédelmi munkásságának részletes elemzése Ernst Bacher előszavában.

12 Uo. 106.

13 Az eredeti publikáció: *Mitteilungen der k. k. Zentral-Kommission für Erforschung und Erhaltung der Kunst- und historischen Denkmale*, 3. F. 4. Bd. (1905); uo. 223.

kek rangsorában a régiségértéknek tulajdonított első hely. Ezt a preferenciát Riegl az általa a modern művészet alapelvének tartott „hangulati tartalom” (Stimmungsinhalt) fogalmára, tehát az individuum jogaira alapozta, s ezt kívánta törvénybe foglaltatni.

Riegl esztétikai felfogásának lényeges eleme a kanti érdeknélküliség. Ellentétei az egoizmus különböző formái. A törvénytervezet bevezetésében így írt: „A műemlékvédelmi törvényt, amely nem kíván Ausztriában sem állami, sem nemzeti egoisztikus érdeket kiváltani, immár egy másik érzés követeli, amely ezzel ellentétben altruisztikus. Addig, amíg az általában vett osztráknak, valamint a csehországinak, a stájernek, karintiainak stb. vagy a németnek, csehnek, lengyelnek stb. a büszkeségérzete az állam vagy egy tartomány vagy egy nemzetiség birtokában lévő emlékeken alapult, mindig a másokkal szembeni elszigetelődés szerint, legyenek azok külföldiek vagy más koronatarományokhoz, illetve nemzetiségekhez tartozók; a régiségi érték iránti érzék az egész világgal való összetartozáson alapul.”¹⁴ Ezeket a körületekintően fogalmazott, hosszú mondatokat, az egyetemes emberi érték hitvallását, a 20. század végén nosztalgikusan mint ideális követelményt, szép utópiát olvassuk.

Nem mintha Riegl naiv lett volna. Például számot vetett a magántulajdon állította korlátokkal, s az általa javasolt osztrák törvény hatályával eleve csak az osztrák koronatarományokban számolt, Magyarországon, ahol véleménye szerint a törvényhozást „elsősorban az állami egoizmus érdekei diktálták”¹⁵, nem. Hamarosan véget ért az univerzalisztikus utópiák korszaka Ausztriában és a Monarchia utódállamaiban is. Félreértés ne essék: nem csak az első (majd a második, végül a hideg-) háborút követően. A Riegl által javasolt törvényt soha nem hozták meg, az emlékértékek általa kidolgozott rendszere *Összegyűjtött írásainak* honesta custodiájában maradt. A professzor és Generalkonservator utódja, Max Dvořák által 1916-ban kiadott *Katechismus der Denkmalpflege* csak gyakorlati példák és ellenpéldák sora Riegl elvei alapján; valójában visszalépés. Sokat mond, hogy néhány feltétlenül szükséges, Riegl követelményeiből levezetett szervezeti modernizációt az osztrák műemlékvédelem szervezetében az első világháború előestéjén, Ferenc Ferdinánd trónörökös katonai kabinetirodájának segítségével vezettek be.

Mindez azonban nem változtat annak az alapelvnek az érvényén, hogy a történelemben nincs módunk szelektálni, a kulturális örökség oszthatatlan, s vele kapcsolatos kötelezettségeink az emberi nemhez való tartozásunkból vezethetők le.

¹⁴ Uo. 105. sk.

¹⁵ Uo. 102.

A néphagyomány és a nemzeti művelődés – hatvan év után

Néhány hét híján hatvan esztendővel ezelőtt, 1939 nyarán hagyta el a nyomdát Györffy István röpirata, *A néphagyomány és a nemzeti művelődés*. Györffy írásának több olyan vonatkozása van, melyet a két világháború közötti gondolkodástörténet vizsgálata okán máig hatóan tanulságos fölidézni.

A mű igen nagy sikert ért el, három év alatt három kiadásban, tizennégyezer példányban jelent meg, amihez bizonyára hozzájárult, hogy Györffy váratlan, korai halála szellemi végrendeletté avatta. Jelentőségét növelte, hogy pontosan beleilleszkedett azoknak a korabeli írásoknak a sorába, amelyek a magyar kultúra helyzetét és jövőjét próbálták meghatározni s, amelyeket általában a hanyatlás miatti aggodalom motivált. Hozzájárult a figyelemhez Györffy határozott kiállása, mely az utolsó oldalakon különösen hangsúlyt nyert, ahol megfogalmazta a tőle többször idézett, de korábban Szekfű Gyulánál és másoknál is szereplő gondolatot: „Embertani, genealógiai vagy névelemzési alapon tehát senki-nek sem lehet eldönteni a magyarságát. A magyarság nem a test, nem a vér, hanem a lélek kérdése.” A „lélek kérdése” a kor nyelvén félreérthetetlenül a nemzeti közösséggel való feltétel nélküli azonosulás lehetőségét hirdette mindenki számára, ami 1939-ben nem keveset jelentett. A nagy érdeklődés leginkább mégis annak szólt, hogy ellentmondásaival és tévedéseivel együtt olyan kulturális és társadalmi problémákat vetett föl, amelyek kimondva-kimondatlanul sokakat foglalkoztattak.

Sietek kijelenteni, hogy nem szaktudományi műről, hanem egy önálló művelődésszmény kifejtéséről van szó. Nem független azonban a szaktudománytól, mert összefonódik Györffy kutatási eredményeivel, többek közt azokból emel ki néhány fontosnak ítélt tételt, és általánosít célja érdekében. Tehát kész eredményekre hivatkozik, nem vonja be olvasóját a szakkutatás folyamatába. Ugyanezt teszi más tudományágakkal is, a nyelvészettel, a történetírással, főleg az őstörténettel, sőt esetenként természettudományokra utal. Érinti viszont a korabeli néprajz intézményrendszerét, igaz, más tudományszakokét is, ellenben nem ad kutatási programot.

Az első és legfontosabb kérdéskör a címben megnevezett hagyomány, ami Györffynél nem a szűkebb és időben korábbi fogalom, azaz nem az írás nélküli társadalmak ismeretátadó intézménye, hanem a szélesebb értelmezést, a jelenben tovább élő teljes kulturális örökséget jelenti, szóbeliséget, írásbeliséget, viselkedési formákat, szokásokat és tárgyi világot egyaránt. A hagyomány tehát a kultúra szinonímája, megfelel a címben szintén szereplő művelődésnek. Csakhogy az utóbbiban a jelenre utalás kap nagyobb nyomatékot, míg a hagyomány elsősorban a múltra, az eredetre utal.

Lényegesek a címben a jelzők is. A nemzetet először „politikai közösség”-nek mondja a szerző, de rögtön utána némi megszorítással kultúrnemzetként írja le, kiemelve a közös eredettudatot, nyelvet, történelmet, természetesen a hagyományt, de a „közös életviszonyokat” és „életérdekeket” is. Végül a nép ezúttal egyértelműen a parasztsággal azonos, a néphagyomány tehát rokon értelmű a népi kultúrával, azaz a parasztkultúrával. A néphagyomány és a nemzeti művelődés között Györffy szerint nincs összhang, legalábbis ellentmondásos a viszonyuk, a röpirat elsődleges célja harmonikus kapcsolódásra javaslatot tenni.

Az összeilleszkedés hiányának a szerző szerint az a történeti oka, hogy a magyar nemzet nem azonos a magyar néppel. A nemesség képezte egykor a nemzetet, a belőle kirekesztett jobbágyság volt a nép. A nemesség ugyan maga döntött arról 1848-ban, hogy megszünteti társadalmi előjogait, de utódai valójában sosem forrtak össze nemzetté a jobbágyság utódaival. Ezek a gondolatok egyáltalán nem voltak újak, de hogy a valahai rendi társadalom két alapvető alkotója közötti szakadék oly jelentős legyen az 1930-as években is, mint Györffy István állította, azt nem sokan hangoztatták. Különösebb magyarázatot nem igényel, hogy kulturális hanyatlás, sőt a széthullás veszélye fenyegeti azt a társadalmat, melyet ilyen megosztottság barázdál.

A második fő kérdés: miként lehet a veszélyt elhárítani? Hogyan kell fölkelni ellene? Amikor alapeszméjét Györffy megfogalmazza, az már több mint egy évszázada ismerős a magyar szellemi élet történetében: a népi kultúra alkalmas a nemzeti kultúra megújítására. A röpirat címe eleve fölidézi Kölcsey Ferenc tanulmányának címét (*Nemzeti hagyományok*, 1826), bár Györffy nem adja jelét, hogy közvetlenül kapcsolódna akár Kölcsey írásához, akár a nemzeti romantika folklórra vonatkozó más megállapításaihoz, a hatás, melynek gyökere a herderi gondolatig nyúlik vissza, mégis tagadhatatlan. Néhány alapeleme meglepően állandó, Györffy azonban lényegesen bővítette a két műveltség viszonyáról alkotott elképzeléseket. A kérdés korábban akként vetődött föl, hogyan kapjanak helyet a népi kultúra bizonyos elemei a nemzeti kultúrában, de legalább a művészek nyerjenek belőle ösztönzést. Györffy nemcsak azt hirdette, hogy a népi kultúra része legyen a magas műveltségnek, hanem azt is, hogy alapjává váljék.

Az 1930-as évek magyar értelmiségét sokoldalúan foglalkoztatta a kérdéskör. Györfly fölfogása leginkább Kodály Zoltánéval rokonítható, aki a magyar népdalt a zenei műveltség alapjává kívánta tenni, mégsem hozhatók egy nevezőre, mert Kodálynál a nemzeti kultúrának csupán egy szeletéről volt szó. A további olyan kortárs műveltségesszmények, melyek valamilyen szinten állást foglaltak a népi kultúrával kapcsolatban, szintén eltértek Györflyétől. Karácsony Sándor nagy jelentőséget tulajdonított neki, de nem szánta alapnak. A paraszti származású népi írók – tehát nem mindegyikük – ebben az időben egyenesen elutasították, mert a hátrahagyni kívánt múlthoz tartozó, visszahúzó erőt láttak benne, ami akadályozza a parasztság társadalmi fölemelkedését (Erdei Ferenc, Veres Péter, a fiatal Illyés Gyula). Babits Mihály az ugyanazon évben megjelent *Mi a magyar?* című kötetben a folklórnak éppen nem a sajátosan nemzeti, hanem nemzetközi vonásait látta meghatározónak.

Kölcsey megvádolta a nemességet hagyományörző tisztének elhanyagolásáért, ami hozzájárult, hogy „a való nemzeti poézis eredeti szikráját a köznépi dalokban... [kell] nyomozni”. Györfly egyik kezdő tétele szerint a nemzeti kultúra letéteményese, az „úri osztály” eltékozolta történelmi hivatását. A visszatekintőnek kedve támadna ironizálni azon, hogy eltelik száz év, és még mindig téma a történelmi középréteg avagy utódai alkalmatlansága, ha nem a magyar társadalom idült problémájáról lenne szó, arról, hogy az elit és az alsó rétegek között elhelyezkedő, a modern társadalom stabilizálódásához valóban nélkülözhetetlen „közép”, függetlenül a történelmi származástól, máig nem tud igazán megszilárdulni és megerősödni. A két világháború között egészen ellentétes politikai és ideológiai álláspontokról, a *Három nemzedéket* megíró Szekfű Gyulától a baloldaltól, a szociográfusoktól az egyházakig gyakran bírálták, de legalább korholták a középrétegeket társadalmi szerepvállalásuk elégtelen teljesítménye miatt, ugyanakkor szinte minden politikai és szellemi mozgalom igyekezett maga mellé állítani őket. Györfly nem következetes, mert miközben a hanyatló „úri osztály”-t kemény szavakkal illeti, másutt a „keleti örökség”, főleg annak az ő számára kiemelten fontos török összetevője hordozójaként említi, megint másutt – mindennek ellenére – további példaadó társadalmi szerepvállalásra buzdítja.

Györfly azokhoz tartozott, akik új középréteg kialakulását kívánták. Elképzeleése szerint a célt elsősorban művelődéspolitikával, a kulturális leszármazás figyelembevételével, és nem társadalompolitikai eszközökkel kellene megvalósítani. Nemcsak a nemesség utódait vélte alkalmatlannak, hanem a polgárságot is, amely szerinte jórészt frissen asszimilálódott, és így még nagyon sok idegen hagyományt hordoz. Ezúttal is ellentétek terhelik véleményét. Az „idegenek” hol mint gyökértelenek, hol a magyarsághoz lojális elemekként jelennek meg. Ha külszóiak, azért hivatkozik rájuk, mert nagyobb elismeréssel adóznak a magyar művelődés teljesítményeinek, mint az „úri osztály”. Végül is az idegen-

séget nem tekintette ellenségesnek, elismerte a röpiratban, mennyi értéket köszönhet az ország a jövevényeknek, csak hogy az eredetiség nyomott nagyobb súlyt a mérlegen. Ezt képviselte a parasztság kultúrája, mely hordozója technikai konzervativizmusa okán a legrégebb tradíciókat őrizte meg. Kölcséynél is érték volt a nagy múlt, de ő a régiséget ilyen módon nem gondolta döntőnek, nála az irodalomújító programban az esztétikai érvek jutottak érvényre. Györffy István elképzelésében a régiség elsősorban azért értékelődött föl, mert magába foglalta a keleti örökséget, melyhez hasonlóan egyetlen más európai nép sincs birtokában. Márpedig a magyarokat szerinte a keleti örökségbe tartozó specifikumok teszik egyedivé, hiszen Európa nem arra kíváncsi, mit vettek át, hanem arra, miben különböznek tőle.

Azt, hogy a sokféleség színezi a földrészt kulturális arculatát, nem az azonosság, nehéz lenne vitatni. Annál kétségesebb maga a keleti örökség fogalma. Ebben már illetékes a szaktudomány. Györffy István a nagy múltú és korántsem néprajzi fogantatású fogalomból önmagában logikus fölépítésű néprajzi elméletet formált, a későbbi kutatások azonban nem igazolták föltevését. Az a települési és gazdálkodási rendszer, amelyet ő honfoglalás előtti eredetűnek vélt, késő középkori-kora újkori konstrukció. (Véleményem szerint ez nem von le sem történeti; sem kulturális értékből.) Másfelől a néprajzi kutatások nem mondtak le a magyar művelődés legkorábbi rétegeinek rekonstrukciójáról, ám azok a műveltségi javak, amelyek a honfoglalástól bizonyíthatóan a 20. századig folytonosak, tehát hitelesen keletiek – legalább abban az értelemben, hogy a Kárpát-medencétől keletre fekvő területekről származnak – ,nem jellegadó elemei annak a népi kultúrának, amelyet a magyar néprajztudomány századunk második felében körvonalazott.

Még jelentősebb kérdés, hogy Györffy nem vette figyelembe korábbi korok nemesi és polgári műveltségének a parasztira gyakorolt hatását. Ennek azonban egyszerű a magyarázata. Nemcsak ő, hanem kortársai közül olyan különböző tájékozódású vezető néprajztudós egyéniségek is, mint Solymossy Sándor és Bátty Zsigmond, teljesen elutasították Hans Naumann nevezetes „gesunkenes Kulturgut” elméletét. A magyar néprajzi kutatás őstörténeti értékű eredményekre összpontosított, az érdekelte, aminek nem volt honnan leszállania, mert hajdan az egész magyarságé volt, magas műveltségünk nem szervesen nőtt ki belőle, ami bekerült a népi kultúrába, az nem eredeti, ezért másodlagos fontosságú – gondolták a néprajzkutatók.

A nyugat-európai műveltség értékét Györffy nem tagadta, de amikor röpiratban példaként említette, nagyon sokszor negatívan értelmezte. Az egyik magyarázat a keleti örökség központi szerepe, a másik az, hogy a Nyugat akkor, 1939-ben elsősorban az agresszív nyugati szomszédot jelentette. A röpirat első sorában megnevezi az Anschlusst mint régen érlelődő gondolatai papírra vetésé-

nek közvetlen kiváltó okát, a birodalmi német terjeszkedés ellenében a magyar nemzeti szellemet akarja erősíteni.

De van még egy Nyugat-értelmezése a műnek, melyben éppen nem az erő és a dinamikus terjeszkedés jelenik meg. Valószínűleg a spengleri „Nyugat alkonya” gondolat többször is érződik a gondolatmeneten, míg a mű legvégén fenyegető érvelésként nyíltan előbukkan: „Gondolkodás nélkül szállunk a nyugat-európai kultúra vakító világa, fénye felé, hogy abban elégséges betöltsük a művelt népek mindenkori sorsát.” Ebből persze az is következik, hogy a keleti örökség régisége okán életképes, a nyugati – amint az antik görög példa tanúsítja – nem.

Harmadsorban arra kell figyelni, hogy Györffy elképzelése, az új középosztály nemzeti egységet alapozó kultúrája egy új, népszerű, populáris avagy közkultúra létrejöttét foglalja magába. Gondolatmenetének következetes értelmezése azonban a népi kultúra megszűnésével járt volna, mert pusztán a csere elképzelhetetlen – azt maga Györffy sem gondolta, hogy a nemzeti kultúra helyére kizárólag a népi lép. Ezért az emlékirat végső soron a társadalom rendies tagolódásának fölszámolását célozza. De úgy, hogy kimaradnak belőle a nem paraszti eredetű művelődés javai. Györffy megpróbálta következetesen érvényesíteni ezt a nemzeti kultúrát mindenképpen beszűkítő fő tételt a különböző művészetektől az oktatáson, a viselkedésmódon, a háziiparon át a mezőgazdaságig és a katonaságig az élet nagyon sok területén.

A nép a legmegbízhatóbb része a társadalomnak, mégis hol az idegen hatások csatározhatatlan elutasítójaként, hol a rossz divatok befogadójaként említi. Két évvel korábban, a röpirat egyik előzményében Györffy meglehetősen fenntartással és keserűbben nyilatkozott a parasztságról. Arra figyelmeztetett, hogy az első világháború után nőtt a szociális nyomor, és ne legyen senkinek se illúziója a parasztság nemzeti koherenciájával szemben. „Az országgal nem azonosítja magát s habár az iskolában hazafias nevelésben részesült, nem az a nagy hazafi, amilyennek tudni szeretnők. Történelmi érzéke csekély. [...] Családi érzése is szűk körű. Az öregeket kevésbé tisztelik, a gyereket már nem tekintik áldásnak, sőt néha inkább tehernek. Általában a régi jó erkölcsök hanyatlanak s minden vonalon a szegénység, nyomorúság nyomasztó, züllesztő hatását tapasztaljuk.” (*Közigazgatás és népismeret. A mai magyar község.* Szerk. Mártonffy Károly. Bp., 1938, 218.) A gyűjtőutak személyes benyomásai és a falukutató irodalom drámai hangűtése egyaránt érződnek ezen az idézeten.

A kiábrándító jelennél azonban erősebbnek bizonyult számára a tradíció és a vágyott elképzelés. A tanulmány teljes egészében értékörző beállítottságú. Sorozatnyi olyan javaslatot tartalmaz, mely a művelődés és a tudomány intézményes ápolását és védelmét kívánja biztosítani. Egy részük meg is valósult (Nyelvtudományi Intézet, a néprajz akadémiai támogatása, múzeumi reform, szabadtéri múzeum, népi műemlékek védelme stb.). Az értékörzés azonban olykor akkora súlyt kap, hogy

nem világos, hogyan jönnek létre az új értékek. Az írás gondolatai gyakran ismétlődnek, a szerző nemegyszer szembekerül önmagával. A programban egészen különböző kulturális javak kerülnek egymás mellé, ártva a termékeny javaslatoknak. Például a kisparaszti gazdálkodás százados tapasztalatai bármily tiszteletre méltó tudásanyagot képviselnek, csak komoly fölértékeléssel állíthatók egyenrangúan a népművészet kiemelkedő alkotásai mellé. Nem föltétlenül győz meg a magyar parlagi tyúk fajtatulajdonosságainak kiválóságáról a Leghorn-tenyészetek hozzá nem értés miatti balsikere, noha kétségbevonhatatlan, hogy a hazai viszonyoknak századokig megfelelt. Az alföldi vízrendezés túlhajtottságának tényeiből sem következik a lecsapolás előtti vízi világgal járó életmód elismerő értékelése. Műveltségkritikájában többféle elem keveredik: a középiskolai görögstanulás helyett valamelyik szomszéd nyelvet ajánlja, elutasítja a „turánkodást”, az irredenta szölamokat, többször is a magyarkodást, kárhoztatja a népies irodalom fattyúhajtásait, ugyanakkor félti a népi gyermekjátékokat a labdarúgástól.

A tanulmány megjelenését nevezetes közszereplés előzte meg, mely ugyancsak rávilágít ellentmondásosságára. Györffy István eredetileg emlékirat formájában nyújtotta be a Vallás- és Közoktatásügyi Minisztériumnak, de visszhangja csak azután támadt, hogy a tárcát Hóman Bálinttól Teleki Pál vette át, akihez ifjúkori barátság fűzte. Teleki 1938 júniusában elmondott programbeszédében magáévá tette Györffy néhány sarkalatos gondolatát. Ő elsősorban a társadalom és a kultúra kettészakítottságát emelte ki, és elítélte a százados hagyományait elhagyó „magyar középosztály”-t, mely nem érti a tradícióihoz hű parasztságot. Meg kell vele ismertetni és szerettetni a néphagyományt, ennek érdekében a miniszter a legkülönbözőbb pályákon kívánja bevezetni a néprajzi képzést (tanítók, lelkészek, jegyzők). Egyidejűleg támogatni fogják a népi kultúra összes föllehető emlékének megmentését, ígérte a miniszter. Teleki tehát nem domborította ki az emlékirat németellenességét, az pedig nem meglepő, hogy a népi kultúra – nemzeti kultúra viszonyában arisztokrataként nem hivatkozott Györffy alapjavaslatára.

Az eseménynek az ad művelődéstörténeti jelentőséget, hogy a népi kultúra ügyének támogatása először került Magyarországon a kulturális kormányzat programjába. Ezzel korántsem a korabeli politikai elit, de annak egyik tekintélyes tagja hivatalosan elismerte a paraszti kultúra jelentőségét.

Számunkra nyilvánvalóak Györffy tévedései, aránytévesztése, túlzón konzervatív ízlése és a kulturális örökséget leszűkítő értelmezése. Úgy gondoljuk, az értő kortársak számára is azok voltak, jóllehet a közvetlen kritikai visszhang ezt kevésbé tükrözi. A legmarkánsabban ellentétes vélemény különös módon évekkel a szöveg végleges formájának megjelenése előtt hangzott el. Zichy István gróf a Magyar Néprajzi Társaság elnöki székfoglalójában 1936-ban szembeszállt azzal a felfogással, mely a népi kultúrát látta a magyar etnikum legkorábbi műveltsége letéteményesének, és későbbi korokból eredő rétegeit idegennek, de legalábbis

nem eredetinek minősítette. (Györffy a Társaság alelnöke és folyóiratának szerkesztője volt.) Közbevetőleg érdemes arra emlékeztetni, hogy a század első évtizedében az ifjú Zichy a gödöllői művészcsoporthoz tagjaként annyira rajongott a népi kultúráért, hogy parasztleánynek beöltözve hónapokig élt Kalotaszegen és Mezőkövesden. A neves őstörténész, a Magyar Nemzeti Múzeum főigazgatója nem vonta kétségbe a népi kultúra értékét, de hangsúlyozta, hogy mindig ki volt téve külső, elsősorban nemesi befolyásnak. Helytelenítette az úri és népi műveltség szembeállítását, sőt egységüket vallotta. Hasonló vezérmotívum mentén készült a Györffy-emlékirat megjelenési évében a *Mi a magyar?* kötet, majd a következő évben az *Úr és paraszt a magyar élet egységében* című tanulmánygyűjtemény, melynek nemcsak a címe, hanem négy néprajzi dolgozata is a népi és magas műveltség összetartozását emelte ki. A mérsékelt németellenes polgárság oldaláról mindkettő óvatos, ám határozott szembenállást fogalmazott meg a német hatalmi terjeszkedéssel szemben.

Képünk azzal teljes, hogy a megjelenés után négy évvel, a Györffy Kollégium névadó ünnepségén baloldali diákok idézték a memorandumot. Ők plebejus lelkesedéssel elsősorban a néphagyomány megújító szerepére tett javaslatokat emelték ki, és a parasztszármazású értelmiség nevelésének fölkarolása történelmi jelentőségű gondolatát ünnepelték. Radikális reformokra biztatást éreztek ki belőle, és a művelődés demokratizálásának programadó alapirataként idézték. Vajon ki gondolta közülük, hogy a háború és következményei legtöbb javaslatát gyorsan zárójelbe fogják tenni?

Végül a szaktudomány ugyan nem azonosult a művel, de kedvező és kedvezőtlen hatását áttételesen mégis megérezte. A néprajz intézeti kutatássá válása Györffy javaslataival, a Táj- és Népkutató Központtal kezdődött. Azok a jelentős anyagi források, amelyeket a háborúban álló ország 1939–1944 között a társadalomtudományi, köztük néprajzi kutatások támogatására és kiadványokra juttatott, nélküle elképzelhetetlenek lettek volna. Ellenben 1949 után valahányszor politikai-ideológiai támadás vagy bírálat érte a néprajztudományt, a háttérben megnevezés nélkül erre a röpiratra gondoltak. A problémát főként az jelenthette, hogy 1949 után a kultúra folytonosságát megszakító, durván szelektáló művelődéspolitikák még mindig tartott az alternatívát ajánló, nemrég sokak érdeklődését fölkelő műtől. Évtizedeken át ideológiai, politikai és érzelmi szempontok nehezítették annak a korszaknak a tárgyilagos történeti értékelését, amelyben Györffy műve megszületett. Meggyőződésem, hogy hatvan év múltán ezek a szempontok megszűntek vagy majdnem teljesen elhalványodtak. Maga a röpirat elfogultság nélkül lehet történeti elemzés tárgya. Mindamellet – függetlenül a szerző konkrét elképzeléseitől és tévedéseitől – a magyar nyelv és kultúra sorsáért vállalt felelősség és a jövőért érzett aggodalom szemléletes példája, különös tekintettel az újabb és újabb elénk kerülő kérdésekre.

Hagyomány, nyelv és nyelvközösség

1. Referátumomban a magyart anyanyelvükként beszélők közösségének a magyar nyelvvel kapcsolatos néhány hagyományáról szólok. Tehát összetett, szerteágazó témakör a vizsgálat tárgya, amely problémák sorát veti föl (első-sorban nem is nyelvi természetűeket). Itt azonban csupán néhány tény említése, néhány gondolat jelzésszerű megfogalmazása lehet szándékom. Célom első-sorban a figyelem fölkeltése. Az, hogy a nyelvi hagyományok komolyan veendők, mert a korszerű nyelvi tervezésnek (is) számolnia kell a nyelvhasználatra (közvetlenül vagy közvetetten) hatást gyakorló beszélői beidegződésekkel, attitűdökkel – történeti perspektívában is.

Általános megjegyzésekkel kezdem:

A) Valamennyi élőlényre, illetőleg élő rendszerre jellemző, hogy környezetével kölcsönhatásban úgy változik folyamatosan, hogy bizonyos tekintetben állandó marad (a biológia nyelvén szólva: hogy homeosztázist mutat). Ez jellemzi a társadalmi lét valamennyi területét is. Amióta társadalmak vannak, az állandóság és a változás kettősségében élnek. Bárhova szegezzük is fürkésző tekintetünket, a hagyományozódásnak és az újításoknak végeláthatatlan láncolatával találkozunk. A nyelvben, a nyelvhasználatban s a beszélőknek a nyelvükről/nyelveikről való tudásában is.

B) A nyelv nem csak érintkezési eszköz. Jóval több annál. S ez a „jóval több” mutatkozik meg egyebek mellett azokban a hagyományokban is, amelyek a nyelveket kísérték és kísérik – legyen szó akár saját, akár idegen nyelvről. E hagyományok a közösségi gondolkodásnak szerves részei, s mint ilyenek a mentalitástörténet egyik fejezetét alkotják.

C) Értelemszerűen a nyelvi hagyomány is társadalomhoz s valamely konkrét nyelvhez kötődik. Ebből következően az egyetemes nyelvi hagyományok mellett vannak specifikus, nem valamennyi nyelvközösségre jellemző nyelvi hagyományok is. Az előbbire a legjobb példa az ún. eredeti hagyományozódás, tehát az anyanyelv átörökítése a közvetlen személyes viszonyok s a szemtől szembeni kommunikáció természetes keretében, az utóbbira legyen példa a nyelvi társtalanságról szóló hagyomány.

D) A nyelvvel kapcsolatos vélekedési szokások többnyire nem nyelvi eredetűek. A nyelvi érvek általában később, utólagos (vélt vagy való) igazolásként csat-

lakoznak a társadalmiakhöz. A szóban forgó hagyományok egy része spontán keletkezésű, naiv, s vannak tudatos szándékkal létrehozott, ún. értelmiségi hagyományok is.

E) A nyelvi hagyomány funkciója, hatása szempontjából közömbös, hogy tudományosan igazolható forrásra, tényre megy-e vissza, vagy hamis tudat az alapja.

F) Az anyanyelvek akkor kezdenek fontossá válni beszélőik (pontosabban: a művelt elit) számára, amikor a humanizmussal a *lingua vulgaris*ok mint figyelemre és vizsgálatra méltó nyelvek megjelennek a klasszikus nyelvek árnyékában. (Még akkor is, ha jó ideig az utóbbiaknak a Prokrusztész-ágyába kényszerítik őket.) A vulgáris nyelvek a maguk felnőtté válását, tehát szerepkörük teljes kibontakozását csak a nemzetté válás folyamatában érik el.

S most lássunk néhány nyelvi hagyományt!

2. A magyar nyelvközösségben immár évszázadok óta hagyományozódó, hol búvópatakként meghúzódó, hol napi gondként jelentkező *nyelvi veszélytudat* nem nyelvi eredetű. A nyelvi veszélytudat geneziséét tekintve nem egyéb, mint a népi veszélyérzet áttevődése nyelvi síkra is. S ennek föltétele volt az, hogy a nyelv ama funkciója tudatosuljon, mely szerint a nyelv az etnikai hovatartozásnak e térségben a legnyilvánvalóbb jele. S mint ilyen a legszorosabb összefüggésben két nyelven kívüli tényezővel volt. Egyrészt a magyarság magáramaradottságának, elhagyatottságának, másrészt s ezzel összefüggésben veszélyeztetettségének az érzésével. Az előbbire első történeti adataink IV. Béla idejéből valók. A realisták idejekorán tudták, hogy Hungária a tatárhoz hasonló hatalmaknak csak időlegesen tud ellenállni. A kért (nyugati) segítség akkor, IV. Béla idején éppúgy elmaradt – csak ígélet jött –, ahogy később, például Hunyadi János idejében (akkor a Vatikán ígért segítséget, de csak ígért). Az utóbbira a török uralom s az ezt követő időszak sok-sok adattal szolgál. (A pozsonyi országgyűlésen a rendek 1593-ban azt írták, hogy „Mérhetetlen fájdalom tölt el bennünket, mert közeledni látjuk azt az időt, amikor végkép elveszünk”: Keresztury in *Szekfü*, 1939, 145–146.) Tegyük hozzá: itt sem csak magyar sajátosságról van szó.

Minden olyan nép, nemzet, amelyet megérintett történelme folyamán a pusztulás szele, táplált, táplál ilyen érzéseket. A nemzeti kálvária elhúzódó küzdelmekre kényszeríti a közösséget, s e küzdelem megteremti a maga mítoszait, amelyeknek hagyományéltető szerepe közismert. A társadalmi, politikai okok mellé tehát a mi esetünkben is csak később csatlakoznak az immáron a nyelvvel közvetlenül összefüggő okok. A nemzeti felbuzdulás idején, a 18. század végén induló nyelvpolitikai küzdelmek a magyar nyelvre mint politikai eszközre irányítják a politizáló magyar értelmiség figyelmét. A tájékozódók azonban a valóságnak addig nem tudatosított, kemény falába ütköznek, amelyről Kisfaludy Sándor ír, mi-

után beutazta a két országot (Magyarországot és Erdélyt). Hogy tudniillik több nem magyar nyelvűt talált, mint magyart („Vége, gondolám, a Magyar Nemzetnek” idézi Keresztury in *Szekfű*, 1939, 155.).

Erősítette a nyelvi veszélytudatot az a vélekedés is, hogy a magyar nyelv társtalan. A finnugor rokonításnak az egész században nem volt még sok híve, a „halzsiros atyafiságnak” még a gondolatát is elhessegette magától a rátarti nemesség. A nyelvi társtalanság érzetének negatív hatását fölerősítette az a kontraszt, amely a magyar és a magyarral érintkező nyelvek között volt. Az, hogy a németnek és a szláv nyelveknek is kiterjedt, nagy, tekintélyes családja van, a magyar viszont itt áll árva egymagában. Herder híres-hírhedt, 1791-ben papírra vetett sorai – amelyek a szlovák Kollár Ádám 1763-as véleményére mennek vissza, miként ezt Dümmerth Dezső meggyőzően valószínűsíti (Dümmerth, 1963, 182.) –, tudniillik hogy „a mások közé ékelt, kisszámú magyaroknak századok múltán talán majd a nyelvét sem lehet fölfedezni”, ismertté válván, érzékelhető riadalmat keltettek, egyszersmind azonban működésbe hozták az önvédelmi reflexet is.

A 20. század újabb tápot ad a magyarság nyelvi veszélyérzetének. Trianon után a magyar nyelv presztízse csökken, és beszélői harmadának anyanyelvhasználati lehetőségei elsősorban a többnyire agresszívan asszimiláló utódállamok politikája következtében beszűkülnek. Növekszenek az asszimilációs veszteségek, a nyelvi különfejlődésnek, a szórványokban pedig a nyelvi erózióknak a kétségtelen jelei mutatkoznak a kétnyelvűvé vált kisebbség bizonyos köreiből, s immár két évtizede a demográfiai fogyás tudatosítja az anyaországban is, hogy a magyar nyelvet anyanyelvükként beszélők számának csökkenése a magyarnak a nyelvpolitikai pozícióit gyengíti. Bizonyos fölmérések a nemzeti identitástudatnak s vele összefüggésben a nyelvi öntudatnak a gyengülését mutatják. Tetszik, nem tetszik: ezek tények. A legfrissebb ok a globalizációval s annak többrendbeli nyelvi kísérőjelenségeivel függ össze. Érdeemes volna nagyobb figyelmet szentelni annak a ténynek, hogy az angol nyelvi hatás a némettől való félelem bizonyos múlt századi reflexeit látszik életre hívni elsősorban a műveltnek mondott nagyközönség soraiban, de nem csak ott – egyébiránt nálunk is, másutt is.

3. A magyar nyelv *társtalan voltát* valló hagyományos vélekedés mélyen gyökerezik a magyar nyelvközösségben. Nem tudjuk, ebben mennyi szerepe lehetett annak, hogy a magyarság egy része visszamaradt, levált, s hogy ennek tudata meddig élt (utalok a konstantinoszi „szavartói aszfalói” magyarokra és Julianus barát útjára). Tény azonban, hogy a szóban forgó vélekedést sem a korai, sem a későbbi nagyszámú nyelvrokonítási kísérlet (a hébertől a sumérig), de még a finnugor nyelvrokonság tényének hirdetése, tanítása sem volt képes teljesen átadni a múltnak. E szívós vélekedés növelte az anyanyelvi veszélytudatot (erről volt szó). Széchenyi például ezt írta 1835-ben: a magyar „e nagy világ terén egyedül áll, s bár éljen, bár vesszen, örömet vele rokonvér nem oszt, könyüket érte ro-

konvér nem hullat” (idézi Benkő, 1992. 19.). Annak érzékeltetésére, hogy milyen érzés lehetett a nemzetté válás politikai csatározásai idején a nyelvi társtalanság érzete a honfiúi kebleknek, a finn Castrén szavait idézem, aki küldetéséről így írt akkor: „Egy dolog fontos előttem, a többi mind mellékes. Be kell, be fogom bizonyítani népemnek, hogy mi sem vagyunk fattyú néptöredékecske a világ nagy népcsaládjai között, hanem a föld lakosságának 1/6 részével rokonok vagyunk” (idézi Zsirai, 1937, 513.).

4. A magyar nyelv társtalanságának a hite hatást gyakorolt ellentett lélektani irányban is: paradox, de magyarázható módon (igaz, hamis alapokon nyugvó önámítással) úgy kompenzálta a negatív érzetet, hogy a *magyar nyelv* társtalanságában *páratlan voltának*, eredetiségének az igazolását látta. Még Kazinczy is – Sajnovics ide, Gyarmathi oda – azt vallotta, hogy „A mi nyelvünk anyja, leány és ismert rokon nélkül úgy áll a többi nyelvek között, mint a phoenix az ég madarainak számában!” (idézi Zsirai, 1937, 507.). A széphalmi mester még ennél is tovább ment. Úgy vélte, a magyarság azért nem pusztul el, mert egyedülálló nyelve nem veszhet el. Ezt írta: „...minthogy Európának dolgait philosophusi szellem igazgatja, a Magyar nép csak azért nem enyész el, mert vele együtt egy sehol másutt nem található originális és szép nyelv veszne el” (idézi Keresztury in *Szekfű*, 1939, 154.). Kazinczy ennek szellemében irigylésre méltó magabiztossággal utasítja el a herderi jóslatot, ezt írván: „kaczagom, 'a mit Herder valahol a' magyar nyelv és nép elenyészése felől jövendől. Herder hamis próféta. A' magyar nyelv és nép elenyészni nem fog soha, míg philosophiai lélek fogja kormányozni Európának dolgait, mint most kormányozza” (Kazinczy, 256.). Íme, a tőle származó s oly gyakran idézett mondásnak, a „Nyelvében él a nemzet”-nek a filozófiai háttere! Azért nem veszhet el szerinte ez a nép, mert originális nyelve föltétlenül megőrzendő egyetemes emberi érték.

5. Itt érkezünk el ahhoz a magyarok körében szélteben elterjedt vélekedéshez, hogy a *magyar nyelv megtanulhatatlan*, de legalábbis a legnehezebben megtanulható nyelv. [Egy példa: az *Élet és Irodalom* egyik 1968. évi számában (46.) olvashatjuk, hogy irodalmunk fordítóinak „A világ legnehezebb nyelvét kellett megtanulniuk”.] Vajon mi az oka e hagyomány létrejöttének? – tegyük föl a kérdést annak tudatában, hogy a megtanulhatatlanság hiedelme teljesen téves. Nos: hogy egy nyelv könnyen vagy nehezen tanulható-e, azt az illető nyelv anyanyelvi beszélői nem tudják eldönteni (ők ugyanis kisgyermekként, hogy úgy mondjam, „készen” kapják anyanyelvüket az eredeti hagyományozódás folyamán). A szóban forgó hiedelem sem magyaroktól származik. Ez történeti forrásokkal igazolható. 1751-ben például a szlovák anyanyelvű Ribiny János tanévnyitó latin nyelvű beszédében, Sopronban a következőket mondotta: „Alkalmasabb módon, mint római nyelven, nem tudtak őseink a szomszéd népekkel tárgyalni, minthogy a többi nép a magyarok nyelvét – mely sokban különbözött a többi európaítól – nem

tudta megtanulni; a magyarok pedig annyi különböző nép különböző beszéd-módját nem akarták kitanulni.” (Ribiny, 1751/1992. 14. Tévedés ne essék: Ribiny nemhogy nem viseltetett ellenséges érzülettel, éppen ellenkezőleg: védelmébe vette a magyar nyelvet a külhoni leszóló véleményekkel szemben! Vö. még azt is, amit Dümmerth Kollár Ádámról írt: 1963, 183.)

A magyar nyelv megtanulhatatlanságának tévhite csak a reformkor politikai és nyelvi harcai közepette kezdett szélesebb körökben is terjedni. Akkor, amikor a magyar rendek a magyar nyelv szélesebb körű használatát szorgalmazták, s a szláv nemzetiségű képviselők, különösen a horvát követek egyik ellenérve a magyar nyelv hivatalossá tétele ellen nemcsak az volt, hogy e nyelv „a nemes szláv nyelvektől idegen”, hanem az is, hogy a szlávok számára megtanulhatatlan (Nyomárkay, 1989, 58.). Az volt tehát az érvek, hogy a magyar nyelv megtanulhatatlansága miatt egyszerűen alkalmatlan lenne az összekötő kapocs szerepére a többnyelvű országban (akkor a latin megtartása mellett kardoskodtak). A szóban forgó hiedelem tehát elsősorban olyan nyelvi attitűd következménye, amely politikai okokból volt egyértelműen negatív. A nyelvi érvek nagyrészt utólag társultak a korábban kialakult nem nyelvi érvekhez. A nyelvi érvek pedig azok voltak, hogy a magyart az indoeurópai nyelvűek valóban nehezebben tanulják, mint bármelyik rokon nyelvüket. – S itt is belép egy sajátos paradoxon. Miközben sikerrel terjesztik külföldön is a magyar nyelv megtanulhatatlanságának hírért, a magyarok körében ez általában olyan érveléssel terjed, hogy igen, a mi nyelvünk nem szokványos, mert eredeti nyelv. Úgy terjed tehát, hogy megerősíti a magyar nyelv társatlanságát és páratlan voltát valló hagyományt, miközben persze megerősítést kap tőlük.

6. Az anyanyelvvel kapcsolatos talán legismertebb, de bizonyosan a leginkább tudatos (egyébiránt tipikusan értelmiségi) hagyomány nálunk is az *anyanyelvvel való tudatos törődésnek*, tehát az anyanyelv ápolásának, pallérozásának, fejlesztésének a *több évszázados gyakorlata*, azt is mondhatnám: reflexe. Régi nyelvtanítóinkat joggal tekintjük nyelvművelőknek is, így Sylvester János óta, tehát a 16. század első felétől igazolható e vonulat megléte, mely kettős, egymással összefüggő síkon futott. Az egyik érzelmi: ezen az anyanyelvhez való emocionális alapú ragaszkodás értendő. (Vö. Sütő András sorait: „A nyelv olyan, mint az asszony. Elhervad, ha nem szeretik.”) A másik racionális: ezen a nyelvért s azon keresztül a közösségért végzendő célszerű és ésszerű cselekvések értendők. Kölcsey szállóigévé vált sorai is ezt mutatják: „Meleg szeretettel függj a hon nyelvén! [...] idegen nyelveket tudni szép, a hazait [...] lehetőségig mívelni kötelesség” (*Kölcsey Ferenc munkái*, 196.). Hasonlóképpen szólt Széchenyi első akadémiai megnyitó beszédében (őt, Akadémiánk alapítóját ehelyt idéznünk több, mint illendő): „Társaságunk csak úgy jár el valódi szerepében, 's hivatásának csak úgy felel meg magasb szellemileg, ha a' magyarnak nyelvkincse körül annál anyaiabb gonddal virraszt, és annak

becsét, méltóságát emelni annál inkább buzog” (idézi Benkő, 1992, 24.). Az érzelmek fontosságát ismerve és elismerve, most csak a kérdéskör racionális oldalát s csak a mát érintem.

A nyelvi kérdés – akár akarjuk, akár nem – nagyon fontos társadalmi kérdés is. Nem vitás ugyanis, hogy a versenyképes anyanyelvi gondolkodás és az anyanyelv teljesítőképessége (más szóval: állapota) között egymást feltételező kapcsolat van. Magyarán: nincs versenyképes anyanyelvi gondolkodás magas teljesítőképességű anyanyelv nélkül. Az elkerülhetetlen társadalmi modernizációnak tehát nyelvi (itt és most: anyanyelvi) feltételei is vannak. Kérdés, van-e ezzel kapcsolatban valamilyen feladata az értelmiségnek (a vezető értelmiségnek) vagy sem. Úgy is fogalmazhatnánk: folytatásra érdemes-e az anyanyelvvel való törődés szóban forgó értelmiségi hagyománya? Pontos, adekvát válaszadás szakmai kérdések tisztázása nélkül nem lehetséges. A válaszadás azonban (a szakmai és a társadalomnak szóló is) megkerülhetetlen kötelesség, a tét ugyanis nagy – s itt most csak hivatkozhatom hazai és külhoni történeti (tehát korántsem csak nyelvészeti!) és szociolingvisztikai tapasztalatokra.

A kérdést megfogalmazhatjuk másként is. Amire választ keresünk, az világosan, egyszersmind némileg provokatívan megfogalmazva az, hogy akarjuk-e a versenyképes anyanyelvi gondolkodás nyelvi feltételeit biztosítani utódaink számára, vagy sem. Ha nem, akkor természetesen nincs feladatunk, legalábbis nem az, amit a törődés szóval szoktunk kifejezni. Ha igen, akkor alapos vizsgálattal, valamennyi érv számbavételével, a hazai és külföldi tapasztalatok feldolgozásával és a lehetséges, illetőleg a várható következmények gondos mérlegelésével kell meghatározni a teendőket. Bevallom: én azt tartom természetesnek, hogy a mai magyar értelmiségi elit is igennel válaszol a föltett kérdésre – ennek minden (elméleti és gyakorlati, tudományos és oktatási, nyelvi tervezési és nyelvpolitikai) következményével együtt. A hagyomány korszerűsítésében viszont sok teendőnk van. Ugyanis számos, az anyanyelv gondozásával, művelésével összefüggő, sokáig hatékony módszer, szemlélet, stratégia, gyakorlat, illetőleg korábban érvényes tudás mára már elavult. S avítt fegyverekkel bizony nem lehet nemhogy háborút, de még csatát sem nyerni. A 20. század vége a maga globalizációs környezetével, az angol gyors terjedésével, az informatikai hálózottság következményeivel új helyzetet teremtett, s az új kihívásokra csak korszerű módon lehet hatékony választ adni. Ez azonban már egy másik kérdéskör.

Irodalom

- Bañcerowski Janusz: Kötelességünk-e gondoskodni anyanyelvünkről? *Magyar Nyelv*, 1998, 16–31.
- Bárzsi Géza: *A magyar nyelv életrajza*. Budapest, Gondolat, 1963.
- Benkő Loránd: Herder árnyékában? *Kortárs*, 1977, 1956–1959.
- Benkő Loránd: A köznyelv szerepe és a vele kapcsolatos magatartásformák. *Magyar Tudomány*, 1983, 888–893.
- Benkő Loránd: Széchenyi a nyelvről és az anyanyelvről. *Magyar Nyelv*, 1992, 14–29.
- Benkő Loránd: Anyanyelvünk átvészelt évszázadai. *Valóság*, 1996, 7, 65–70.
- Benkő Loránd: Anyanyelvi örökségünk. *Valóság*, 1998, 10, 77–84.
- Bodó Barna (ed.): *Local Identity and Regionalism in the Interethnic Relations*. Timișoara, Helikon Kiadó, 1998.
- Conversi, Daniele: A nacionalizmus-elmélet három iránya. *Regio*, 1998, 3, 37–55.
- Dittmar, Norbert: *Grundlagen der Soziolinguistik*. Tübingen, Max Niemeyer Verlag, 1997.
- Domokos Péter: *Szkitiától Lappóniáig. A nyelvrokonság és az őstörténet visszhangja irodalmunkban*. Budapest, Akadémiai Kiadó, 1990.
- Dümmert Dezső: Herder jóslata és forrásai. *Filológiai Közöny*, 1963, 181–183.
- Gereben Ferenc: A történelmi tudat kisebbségi helyzetben. *Valóság*, 1997, 4, 36–51.
- Glatz Ferenc: *Tudománypolitika az ezredforduló Magyarországn*. Budapest, Magyar Tudományos Akadémia, 1998.
- Györffy István: *A néphagyomány és a nemzeti művelődés*. Budapest, 1942.
- Kazinczy Ferenc levelezése. Sajtó alá rendezte Harsányi István. Budapest, 1927. XXII.
- Kiefer Ferenc: A magyar nyelv mint a modern kommunikáció eszköze. *Magyar Tudomány*, 1994, 631–642.
- Kolozsvári Grandpierre Emil: Herder árnyéka. *Kortárs*, 1977, 1303–1311.
- Kontra Miklós, Saly Noémi (szerk.): *Nyelvmentés vagy nyelvárulás*. Budapest, Osiris, 1998.
- Kósa László: *Néphagyományunk*. Budapest, Magvető Kiadó, 1976.
- Kósa László: *Hagyomány és közösség*. Budapest, Móra, 1984, Kozmosz Könyvek.
- Kölcsey Ferenc munkái. Radó Antal bevezetésével. Budapest, é. n. Franklin-Társulat.
- Lansztyák István: Magyar nyelvtervezés a Kárpát-medencében a 21. században. *Irodalmi Szemle*, 1998, 3–4., 107–115; 5–7., 152–163.
- Lieven, Anatol: Mi is a nemzet? *Európai Szemle*, 1998, Tél '98/4, 97–115.
- Magyar Nyelvtör*, 1993, 4. sz. 395–614.
- Nyíri Kristóf: A hagyomány fogalma. *Magyar Tudomány*, 1994, 969–980.
- Nyíri Kristóf: Globális társadalom és lokális kultúra a hálózottság korában. *Magyar Tudomány*, 1998, 1286–1296.
- Nyíri Kristóf: Globális tanulás és helyi közösségek. *Világosság*, 1998, 11, 3–13.
- Nyomárkay István: *Ungarische Vorbilder der kroatischen Sprachenerneuerung*. Budapest, Akadémiai Kiadó, 1989. *Studies in Modern Philology* 7.
- Péntek János: Védtelenebbé vált a magyar nyelv. *Édes Anyanyelvünk*, 1999, 11.
- Pomogáts Béla: Nyelvújítás az ezredfordulón. *Ezredforduló*, 1999, 2, 26–28.
- Pordány László: Nyelvészet és nyelvvédelem. *Hitel*, 1998, Szept., 67–77.
- Pusztai Ferenc: *Magyarul és magyarul*. Kézirat tanuló. Budapest, 1999.
- Ribiny János: Beszéd a magyar nyelv műveléséről (1751). In Grüll Tibor (sorozatszerk.): *Líceumi Füzetek* 1. Ford. Kis Erika és Grüll Tibor. Sopron, 1992.
- Schöpflin György: Ráció, identitás és hatalom. *Regio*, 1998, 2, 3–32.
- Szathmári István: *Régi nyelvtanaink és egységesülő irodalmi nyelviünk*. Budapest, Akadémiai Kiadó, 1968.
- Szekfű Gyula: *Iratok a magyar államnyelv kérdésének történetéhez. 1790–1848*. Budapest, Magyar Történelmi Társulat, 1926.
- Szekfű Gyula (szerk.): *Mi a magyar?* Budapest, Magyar Szemle Társaság, 1939.
- Tóth József–Trócsányi András: *A magyarság kulturális földrajza*. Pécs, Pro Pannonia Kiadó, 1997.

A magyar pszichológia kétféle hagyománya: a természeti és a közösségi ember

A pszichológiáról, mint megosztott tudományról

A pszichológia, úgy is, mint önálló hivatásbeli fegyelemmel rendelkező szakma, s úgy is, mint pozitív ismereteket felhalmozó tudomány, a világon mindenütt többféle mintázatnak megfelelően alakította önképét. Értelmezik ezt a többféleséget úgy is, mint paradigmák gyors váltakozását, de úgy is, mint a kutatási minták, illetve előírások egymás mellett élését (Watson, 1967). Sehol sincsen egyetlen, egységes pszichológia, legfeljebb az oktatási programok illúziókkal teli, államot, támogatókat és saját józanságunkat s kriticismusunkat elaltató világában. Az eggyel korábbi századforduló óta tudjuk, hogy az európai hagyományban igen világosan elválik egymástól a magyarázó igényű természettudományos pszichológia és az értelmező, hermeneutikus ambíciójú megértő pszichológia. Valóban átfogó eltérésről van itt szó, mely nemcsak a Dilthey (1894) exponálta formában létezik és létezett, hanem számos más változatban is megjelent egy évszázada, más nyelvekhez és más kultúrákhoz kapcsolódva. Az 1. táblázat összegzi ezeket az eltéréseket.

1. táblázat

A századforduló jellegzetes irányzatai, amelyek a kísérleti pszichológiát megkérdőjelezték

Szerző	Mit bírál?	Mit ajánl helyette?
Husserl	naturalizmus	fenomenológia, kategóriák
Dilthey	magyarázat, naturalizmus	megértés, történelem
Bergson	elemek, rendezetlenség	intuíció, integratív lélek
James	elemek, statika	folyamat, életérték

Alternatív pszichológiák fogalmazódtak meg egy évszázaddal ezelőtt, melyek kettősségeinek egy része, mint a magyar irodalomban elsőként Harkai Schiller Pál (1940) rámutatott, már az „alapító atya”, Wundt (1898) kétféle módszerében, a kísérletező „fiziológiai pszichológia” és a megfigyelést és filológiai eljárásokat használó népléktan szembenállásában is elővételeződött. Alacsonyabb és magasabb lelki jelenségek merev elválasztása, illetve az elválasztás felett érzett aggodalom is benne van mindezekben az értékelésekben, ahogy azt majd Vigotszkij (1971) programatikusan bírálja.

A pszichológiát azonban a kezdetektől nemcsak ez a természeti-szellemi. magyarázó-megértő szembeállítás jellemezte, és jellemzi mindmáig, hanem a hivatás feladataival s követendő eljárásaival kapcsolatos többszörösség is. Mint Kurt Danziger (1990) elméleti rendszerezése megmutatta, a korai pszichológiának három különböző kutatási mintázata bontakozott ki, amelyek eltérő felfogást képviselnek mind a kutatói hatalom, mind a kutatás végzője és alanya közötti intimitás, mind az egyetemességi igény tekintetében – mint ezt a 2. táblázat ösz-szegzi.

Azóta ezek a megoszlások természetesen még rafináltabbá váltak. Igen nagy-nak tűnik mind a tematikai, mind a módszerbeli távolság az állatokkal, gyerme-kekkel vagy a felnőttel kísérletező kutató között, különösen abban a köznapi érte-lemben, hogy válthat-e valaki radikálisan munkahelyet és napi foglalatosságot a pszichológián belül.

Nemcsak erről a differenciálódásról volt és van szó azonban, hanem eltérő hagyományokból származó foglalkozásbeli és emberi szerepek sajátos összekap-csolásáról is. Ben-David és Collins (1966; Ben-David, 1971) mára klasszikussá vált dolgozata óta beszélünk arról, hogy a pszichológia művelői sajátos szerep-hibridizáció révén alakították ki azonosságukat. Ben-Davidék elemzése arra mutatott rá, hogy a klasszikus kísérletezők nemzedéke (Fechner, Wundt, Georg Müller, Stumpf) a természettudósi (többnyire foglalkozászerűen orvosi) és a filo-

2. táblázat

A korai tapasztalati pszichológia három kutatási modellje
(Danziger, 1990 nyomán in Pléh, 2000)

Kutatási modellek	Kísérleti	Pszichometriai	Klinikai
Kezdeményező	Wundt	Galton	Charcot
Általánosítás	egyetemes	egyénhez rendel	patológia, elválaszt
Hatalmi viszony	kollegiális	köznapi interakciós	aszimmetrikus
Ismerősség	intim, közeli	ismeretlen	orvos-beteg
Műszerezettség	magas	közepes	alacsony

zófiai kérdésfeltevést és hozzáállást kapcsolta össze egymással. Ennek a múlt század második felének német egyetemi kontextusában megvolt a maga versenyelőnye. Az új foglalkozás, a pszichológia képviselői az akkorra nagy presztízsűvé vált kísérleti tudományok módszereivel ígértek választ adni klasszikus filozófiai kérdésekre, ezzel biztosítva az egzisztenciális sikert az egyetemi versenyben mind maguk, mind az új disziplína számára. Ez a versenyelőny persze azóta is megvan. Van azonban ennek a hibridizációnak egy tisztán intellektuális érdekessége is: azt fejezi ki, hogy az ember teljességével foglalkozni igyekvő pszichológia sem a módszerek, sem a kérdésfeltevés tekintetében nem elégedhet meg egyetlen elismert, szociológiailag kikristályosodott diszciplína felfogásával. A szerepek összekapcsolása a tanulmányozni kívánt „dolog” komplexitását fejezi ki, nem a múltnak valami levetkezendő atavizmusáról van szó, hanem folytonosan érvényes igényről. Ez felel meg a foglalkozási szerepek tekintetében annak a köztes szerepnek, amit Jean Piaget (1970) emelt ki a pszichológiára nézve.

Többször érveltem már amellet (Pléh, 1984a,b, 1998, 2000), hogy a Ben-David és Collins elemezte laboratóriumi pszichológia mellett fel kell tételeznünk egy másik szerep-hibridizációt is. Míg a hagyományosan tárgyalt szerephelyzet a természettudós és a filozófus szerepeit vetíti egymásra, s megfelel Danziger (1990) kísérleti módszertanának, van egy másik szerepillesztés is, amely egyik oldalon a gyakorlati ember, az orvos, a vezető, a nevelő, a másik oldalon pedig az evolúciós elmélet egymáshoz kapcsolásából született meg. A szerepötvöztetés tudományos végpontja itt a tágan értelmezett biológiai szemlélet. A gyakorlati hangsúly révén gondolkodási stílusában nagy a rokonság az embert fejlődő, változó, mozgó, nem statikus lénynak tekintő evolúciós metateória és a gyakorlatias kérdések között.

Tanulságos beilleszteni ezt a Danziger nyújtotta képbe. Ott a pszichometriai és az orvosi attitűd felel meg neki. Keresztezi azonban ezt a megfeleltetést, hogy kétféle elképzelés kapcsolódik hozzá az egyéni különbségekről. Megfeleltethető neki egy szelekciós emberkép, amely szerint gyakorlati célokra azonosítani lehet és kell egy „magasabb rendű működésmódot”, s ehhez képest mintegy „hulljon a férgese”, jogosan szorul háttérbe a társadalomban az alacsonyabb színvonal képviselője. Egyes változataiban azonban egy valóban demokratikus felfogás kapcsolódik hozzá, mint például a John Dewey (1910, 1912) értelmezte darwini felfogás, amely szerint a pszichológia feladata a különbségek kultivációja, mert sosem tudhatja, milyen új helyzetekben melyik változat fog eredményesnek bizonyulni (vö. Pléh, 1998).

Ennek a hibridizációnak a képviselői személyes és szakmai életükben sem akadémikusak, többnyire egyetemi kereteken kívül élnek. A németes rendezett világ elvárásaihoz képest műkedvelők, intellektuális szabadúszók, vagy ha szigorú szakmai kereteik vannak, ezek nem a bölcsészethez, hanem a gyakorlati

orvosláshoz kötik őket. Ez az életbeli szerepviszony többnyire társadalmi reformizmussal is összekapcsolódott.

Ez a kétféle hibridizáció, a gyakorlatias és az akadémikus, a magyar pszichológia kezdeteit s további sorsát is jellemzi. Amellett fogok azonban érvelni, hogy a magyar pszichológiát nemcsak a többféle szerepminta együttes megléte jellemzi, hanem az igazán sajátos „kisország-helyzet” azt is eredményezi, hogy a különböző hálózatok között áthallások vannak.

A magyar kezdetek kettősségei

A magyar pszichológia esete több okból is érdekes a szerep-hibridizációkat tekintve Legérdekesebb mozzanata az, hogy Magyarországon a korai szerep-hibridizáció nem két, hanem három síkon ment végbe. Az első hagyomány volt az akadémikus hibridizáció. Kezdetben azonban ez is csak részben követte az általánosnak tekintett német mintázatot, mivel közelebb állt a gyakorlathoz. A pszichológia megjelent a filozófiai tanszékeken előadások, majd „szemináriumok” formájában. E folyamat során azonban a korai magyar akadémikus pszichológusok közül sokan kevésbé akadémikusak voltak, mint például a mai minta alapján várhatnánk. Igaz ez a bölcsészek egy részére, Révész Gézára vagy Harkai Schiller Pálra, de természetesen érvényes az orvosokra is, például Ranschburg Pálra. A második hibridizáció a pszichológia gyakorlatias intézményesülése volt a nevelés, a fogyatékosok és az ipari pályaválasztás ügyét illetően. Ezek az utóbbi próbálkozások a modern nagyvárosi élet higiéniái megfontolásaiból indultak ki, valamint azoknak a nevelési reformoknak a szemléletéből, melyek a gyermekközpontú és időnként radikális társadalmi ideológiákhoz kapcsolódtak.

A funkcionalista és gyakorlatias szerep-hibridizációnak volt s van azonban egy sajátos közép-európai változata is. A pszichoanalízis és a mélylélektan különböző árnyalatai a klinikai érdeklődés sajátos változatát képviselik. Sajátos ez két

3. táblázat

A három magyar hagyomány néhány képviselője

Akadémikus hagyomány	Funkcionalista hagyomány	Mélylélektani hagyomány
Ranschburg Pál, Révész Béla	Dienes Valéria, Nagy László	Ferenczi Sándor
Kornis Gyula, Harkai Schiller Pál, Békésy György	Várkonyi Hildebrand, Karácsony Sándor	Szondi Lipót
Kardos Lajos, Tánczos Zsolt	Mérei Ferenc	Hermann Imre

okból. A betegséget az élettörténethez kapcsolja, és sajátos azért is, mert közismerten nyitott volt a kórház mellett a kultúra irányába, a művészet és az irodalom felé, nálunk pedig a nevelésügy irányába is. A 3. táblázat emlékeztetőül a három hagyomány nagyjait mutatja be, mintegy nemzedékekbe rendezve. Az akadémikus hagyomány legjelentősebb képviselői szemléletükben az ember természeti meghatározottságát képviselik, amit persze számos vita kísért saját korukban is. A funkionalisták sajátos vonása a közösségi hangsúly, míg a pszichoanalitikusok sajátos magyar vonása Ferenczitől kezdve a biológiai és a társas szemlélet összekapcsolása.

A magyar pszichológia néhány nemzetinek is tekinthető sajátossága

A magyar pszichológia múltjának van néhány tanulságos vonása, melyek a hagyomány és újítás viszonyát érintik, s nem érdektelenek a pszichológia szociológiai meghatározottságára nézve. Részben az általános közép-európai kulturális összefüggésrendszerből fakadó vonásokról van itt szó, részben szakma-specifikusabb dolgokról.

Kulturális és politikai összefüggések

Központi szerveződés és centrifugális tényezők. A magyar pszichológiában mindig voltak és vannak próbálkozások arra, hogy valamiféle „hivatalos felfogás” alakuljon ki az emberképet illetően, valamint valamilyen hivatalos, elismert központi vezetés. Ironikus társadalmi mozgások jönnek létre ennek következtében. Számos alkalommal az „alternatív gondolkodók” ugyanis szintén „hivatalosakká”, középponti irányítóvá szeretnének válni. A tudomány és a szakma képviselői nem mindig veszik észre, hogy valódi érdekük az, hogy a központosítás ellen dolgozzanak, s nem az, hogy az egyik központot egy másikkal helyettesítsék. A rejtett kollégiumok és a véleményirányítók világát persze mindenütt átszövik a valóságos hatalmi hálók és érdekek. A centralizált államokban azonban ez nemcsak jellegzetesebb, hanem nagyobb a rá vonatkozó szereptávolítás is: miközben a politikai hatalomra támaszkodunk magának az értékhierarchiának az alakulásában, ezt nagyon tagadjuk.

A hagyomány megszakadása. A többszöri, politikailag megalapozott tisztogatások és a saját kezdeményezésű kivándorlások következtében a normális tanár-tanítvány hagyományátviteli kapcsolatok az elmúlt száz év során többször megszakadtak. A tisztogatások kiindulásukban politikai motivációjúak voltak.

(Részvétel a baloldali mozgalmakban, jobboldali kapcsolatok, illetve a keresztény központosító kultúrpolitika szolgálata, gyanús polgári kozmopolitizmus.) Mindez különösen éles volt a kísérleti pszichológiában. Ranschburg eredeti kezdeményezései nem tudtak meghonosodni a bölcsészeti pszichológiában (Torda, 1995), Révész Géza kényszerű emigrációja a diszkreditált kísérleti pszichológia vákuumát hagyta maga után, hogy azután a Harkai Schiller Pál (1940, 1944; róla lásd Marton, 1994) elindította ígéretes kísérleti pszichológia hagyománya megszakadjon, s Kardos Lajos (1957) úgy érezhesse, hogy megint mindent újrakezd a budapesti egyetemen. Mindez olyan nem túl szerencsés helyzetet eredményezett, hogy a magyar pszichológiai kutatás érzékeny területein a megszakítások következtében a *tudni hogyan* tudások helyett a *tudni mit* tudások állnak előtérben, a készségek helyett a verbális tudás, az elmaradás szorgalmas, könyvszagú behozásának ideológiája.

Mindezt tetézte, hogy a megszakítások eredeti politikai alapja számos alkalommal az akadémiai versengés folytatásának új módját eredményezte. Eredeti indítékairól leválva a politika új eszközzé vált a tudományos versengés korlátozására. Sajátos hitvallásuknak és szerveződésüknek megfelelően pusztán a pszichoanalitikusok tudták ezt elkerülni és megőrizni a folytonosságot.

A hagyománymegszakadás hangsúlyozása filológiailag is tetten érhető. Az 1958 és 1975 közötti pszichológiai irodalmat áttekintve (Pléh, 1979) azt találtam, hogy egyetlen hivatkozás sem volt akkor már nem élő magyar pszichológusra! Olyan helyzet ez, mintha Alfred Binet vagy William James sosem lenne hivatkozott szerző mai francia vagy amerikai pszichológusoknál, vagy Horváth János és Gombocz Zoltán öröksége, de akár neve sem élt volna a magyar humaniorákban.

Mindez nem azt jelenti, hogy a magyar pszichológusoknak ne lennének szerepmoddelljeik szakmai szocializációjuk során. A magyar pszichológusok idősebb nemzedékétől felkérésre kapott önéletrajzokból készített statisztikákban (Bodor, Pléh és Lányi, 1998.) a magyar pszichológusok következő gyakorisági sorrendjét kaptuk: Kardos Lajos, Mérei Ferenc, Ferenczi Sándor, Szondi Lipót, Harkai Schiller Pál, Radnai Béla, Várkonyi Hildebrand Dezső, Gegesi Kiss Pál, Hermann Imre, Grastyán Endre, Karácsony Sándor. Őket tekinthetjük úgy, mint a néhány évtizeddel ezelőtt szocializálódott pszichológusok szemléletének fontos formálói. Ez érdekes ellentmondásban van azzal a képpel, amit ugyanezen tudósok publikációs statisztikáiból kapunk. Úgy tűnik, hogy a politikai győzteseknek állandóan érdekük az, hogy a múltat homályba taszítsák (ez jelenik meg a hivatkozási statisztikákban), ugyanakkor a fejekben él ez a múlt. Mai korunk pozitívuma, hogy a politika összes értékvesztése és zavara közepette először történt, legalábbis ami a pszichológiát illeti, gyökeres politikai átalakulás hazánkban úgy, hogy eközben nem ment végbe a politikára hivatkozó „tisztogatás”. Mindennek megvan a negatív oldala. Eközben a valóban fiatalok a lábukkal szavaznak: a leg-

tehetségesebbek továbbra is úgy érzik, nincs mit tanulniuk a mester-tanítvány viszony első osztályú szintjén, s eleve külföldön kezdik meg érdemi szakmai pályájukat.

A magyar tradíció mint a hálózatok és az áthallások hagyománya

A magyar pszichológia hagyományának érdekes vonása volt, hogy a szakmai élet informális hálózatokban létezett, a maga erőteljes véleményirányítóival. Kicsiny, áttekinthető hálózatok léteztek, s ez csak az utolsó két évtizedben változott meg. A mindennapi életben ez azt eredményezte, hogy a szakmai kapcsolatok mindig személyessé váltak, zárt köröket s köztük levő határokat teremtve, ugyanakkor a határ másik oldalán folyó munka látható volt. A legtöbb hálózatnak megvolt a maga guruja: számos helyileg fontos személy hétköznapi szakmai tevékenysége, de néhány nemzetközileg ismert személyé is odaadó tanítványok körében folyt.

Volt néhány jelentős alakja a magyar pszichológiának, akik már korán megmutatták e hálózati tényező jelentőségét. Érvényes volt ez Nagy Lászlóra, a magyar gyermektanulmányi (pedológiai) mozgalom vezetőjére nézve. Egészében nézve is igaz volt azonban a neveléssel kapcsolatos pszichológiát illetően. Dienes Valéria (1914), a funkcionista gyermeklélektan első képviselője s később az *Orchestricának* nevezett művészi táncmozgalom vezetője, mindig társas hálózatokban élt, s Karácsony Sándor is ezek részeként bontakoztatta ki pszichológiáját, egész elmélete követők és tanítványok hálózatában élt, s ugyanakkor tartalmában is a szocialitás elmélete volt (Pléh, 1998).

Nyilvánvaló maradt ez a hálózati mozzanat azokon a területeken, amelyekben megmaradt a hagyományozás, a mester-tanítvány viszony, mint a pszichoanalízis világa vagy a szociálpszichológia és a neveléslélektan tradíciója Mérei Ferenc körében vagy Karácsony követőinél. Ezek a hálózatok (például) az 1950–70-es évek nehéz időiben jellegzetesen informálisak voltak abban a tekintetben is, hogy nem voltak publikusak, s nem voltak részei a hivatalos akadémiai világnak. Ennek számos előnye van. Az intenzív érzelmi azonosulás, a szakmai identitás teljes emberként való képviselése, szakmai, érzelmi és emberi identitás nem mindig modern összekapcsolása valójában különleges hőfokot s az emberi boldogság szigeteinek lehetőségét biztosította a résztvevőknek. Intimebb és a szokványos analitikus tudománynál involváltabb közösségek ezek, amelyek azután magát a közösségi embert mint témát is kultiválják. Hátulütői is vannak persze ennek. Egy részük emberi: a tágabb társadalom individualizáló világa az egyén szintjén is összeütközik a közösségies emberképpel és életformával. A bennfentesség szakmai gondokat is eredményez. A nem nyilvános és nem számonkérhető értékrend, a beavatottság és sokszor a zártság ilyen jellemzők.

A hálózatok zártsága azonban nem egyértelmű. A különböző hálózatok közt áthallások voltak, illetve az egyének párhuzamosan vettek részt a különböző hálózatokban. Ranschburg Pál egyszerre jelenti a mai kísérleti pszichológia és a klinikai és nevelési szemléletet összekapcsoló gyógypedagógiai pszichológia vállalt múltját. A későbbi neves pszichoanalitikus Hermann Imre Révész Géza kísérleti pszichológiai asszisztense volt. A kísérletező Kardos Lajos az 1930-as években odaadó tanítványa volt Szondi Lipótnak, az 1950–60-as évek Gyermeklélektani Intézetének hagyománya egyszerre műveli a funkcionalista gyermeklélektant, a pszichoanalízist és bizonyos képviselőinél a kísérleti pszichológiát is. Völgyesy Pál (1995) mutatott rá például arra, hogy az egyetemeken zajló akadémikus pszichológia (Harkai Schiller budapesti és Várkonyi Hildebrand szegedi munkája), a pályaválasztási tanácsadás és az ehhez kapcsolódó pszichotechnológiai munka között szoros kapcsolat volt. Hasonló módon mind a szociálpszichológusok, mint a fiatal Mérei Ferenc, mind a pedagógiai újitók, mint az akkor már tekintélyes Nagy László, aki a budapesti Fővárosi Pedagógiai Intézet igazgatója volt, egyaránt részt vettek az 1930-as években a tanácsadási mozgalomban, társadalmi felelősségérzettől és kötelességérzettől hajtva, s ugyanez érvényes Mérei későbbi munkásságára vagy a Gyermeklélektani Intézetre.

A társadalomtudományokkal kapcsolatos tényezők

Felelősségérzet. A magyar pszichológiának „hivatásközpontú” önképe van: a tudományt nem önmagáért kell csinálni, és a pszichológiai foglalkozás nemcsak azokért az egyénekért felelős, akikkel törődik, hanem a társadalom jóllétéért is. Ez az állandó „törődés” nem feltétlenül pozitív. Elvezethet ez ugyanis a társadalomtudományok, beleértve a pszichológiát is, profetikus víziójához, hogy azután hasonló társadalmi és politizált okokból teljességgel elutasítsák őket.

Megvan a maga veszélye, ha túlhangsúlyozzuk a tudomány társadalmi felelősségét és a közérdekekkel való kapcsolatát. Kétségkívül sajátos kompetitív előnyt jelent régiókban azok számára, akik szeretnék megkerülni annak a valódi mozgató tényezőnek a hatását a tudományban, amit Merton (1973) úgy azonosított, mint a szakmabeli társak általi elismerést. Ugyanakkor ez a felelősség hangsúly elbátortalanítja és sokszor el is űzi azokat a fiatal tudósokat, akik úgy látják, hogy a valódi kompetitív helyzet csak külföldön érvényesül. A felelősségérzet túlhangsúlyozása lelassíthatja azoknak a valódi értelmiségi kibontakozását is, akik engedelmesen, a politikai kortárs csoport értékelésének megfelelően próbálnak dolgozni, ahelyett, hogy kollégáik keményebb kortárs csoportjának próbálnának megfelelni.

Küzdelem a függetlenségért és a befolyásért. A társadalomtudósok és a pszichológusok is számos alkalommal e két szükséglet között ingadoznak: szeretnék, ha magukra hagynák őket, de ugyanakkor központi támogatásra is szükségük van. Olyan feszültség ez, mely jellemző azokra az országokra, ahol központosított oktatási rendszer van. Manapság kellene az autonómiák világában valóban nyugvópontra jutnia ennek.

Szakmai sajátosságok

Közelebbi kapcsolatok az akadémikus és alkalmazott területek között. Lehetséges kombinációk és váltások jellemzik a pszichológiát nálunk e két terület között, éppen a hálózatok említett áttekinthetősége miatt. Fontos is megtartani a különböző hálózatok közötti kapcsolatokat. Az átfedéseknek a mienkéhez hasonló kicsiny hálózatokban sokkal szélesebbeknek és kiterjedtebbeknek kell lenniük. Lehet, hogy ez lesz a további fejlődés kulcsa. Sőt, ez versenyelőny lehet a bezártabb világokban dolgozó, „szerencsésebb csillagzat” alatt működő kollégákkal szemben.

A harmadik út: a lélektan mint biológiai tudomány

A magyar hagyományokban egymás mellett élt a természeti és közösségi ember világa. Olyan szerzőknél azonban, mint Mérei, a hazai fejlődés-pszichoanalitikusok, akik a társas kapcsolatokat állították előtérbe a csecsemő fejlődésében, vagy Harkai Schiller (1940, 1944) dinamikus etológiai alapú cselekvéstanában, korán megvolt már az esély a szembeállítások meghaladására.

Ma már van esély a kilépésre ezekből a dichotómiákból s az emberi szocialitás naturális értelmezésére. A kulcsmozzanat ebben annak felismerése, hogy a társadalom nem egy mintázatlan természeti emberre épül rá, hanem az elemi társaság az emberi természet lényéhez tartozik. Kiegészíti ezt az a mozzanat, hogy az ember saját magát s másokat cselekvő s „lelkes” lényként értelmező felfogása is efféle biologisztikus rendszerre épít. Nem akarok ennek részleteiről szólni, mert aktív kutatókat érint. Azért tartozik ide, mert a mai magyar pszichológia nemzetközileg is legérdekesebb senior és fiatalabb kutatói egyaránt ezen az összekapcsoláson munkálkodnak. Ebben határozott meggyőződésem szerint segítségükre volt a magyar hagyomány, az, hogy több intellektuális és emberi hálózat keretében formálódott nemcsak saját identitásuk, hanem szakmai hitvallásuk is. Tudományos kétnyelvűség jellemzi őket, ahogyan Julesz Béla (2000) fogalmaz, amikor egyszerre kísérleti pszichológusok és pszichoanalitikusok, egyszerre érinti őket a tanácsadás és az etológia kérdésköre s így tovább.

Ez az „ajánlott harmadik út” tehát a tágon vett *biológiai pszichológia* útja. Ennek pályáját számos félreértés kíséri. A legfontosabb közülük a determinizmustól és a szociális konzervativizmustól való félelem. Minden konstrukcionista felfogás örök mozgatóereje, s ez Európa elmaradottabb régióiban különösen kísértő lehet, hogy úgy véljük: magunkat megkonstruálva egyben saját hajunknál fogva kihúzzhatjuk magunkat a sárból. Ezzel szemben a biologisztikus emberkép azzal fenyeget, hogy meghatározottak vagyunk, így azután cselekvőképességünk behatárolt. Determináltak vagyunk cselekvési lehetőségeinkben, maga az „ágencia”, a szabad cselekvő világa talán nem is létezik. A másik félelem az egyéni különbségekre vonatkozik a biologisztikus pszichológia értelmezéseiben. A biológiai szemléletnek ez a bírálata eltéréseinket változtathatatlan genetikai adottságként állítja be, ezért azután mindig az erőseknek kedvez, olyan világképet sugall, mely szerint az emberek helye a világban úgy, ahogy van, helytálló, hiszen egy természeti rendet követ.

Ezek a félelmek kivédhetőek, ha szem előtt tartjuk, hogy olyan hibridizációra van szükség, amit az alaklélektanok, nálunk Harkai Schiller Pál vagy az amerikai keretekben Donald Campbell (1975) vagy David Krech megvalósítottak. Olyan pszichológia ez, mely nem talál szakadékokat az ember mint társas lény s az ember mint természeti lény között. Campbell számára természetes volt, hogy miközben a szociálpszichológiai kérdőívek elméletével és az előítéletes gondolkodás elemzésével foglalkozik, átfogó elméleteiben az emberi megismerés evolúciós kereteit hirdeti. A neves konformizmuskutató David Krech pedig egyben kiváló pszichofiziológus, azoknak a kutatásoknak a kezdeményezője, melyek az állati fejlődést vizsgálják a környezetgazdagításnak megfelelően.

Van és volt ezekben a törekvésekben egy igazán vonzó optimizmus. Azt sugallták, hogy az elkötelezett tudósnak nincs oka félni az ember természetének megismerésétől. Az emberi természet megismerése nem az elesettek s kiszorítottak „éppen így való” reménytelen helyzetét, hanem nagyobb esélyeit fogja megmutatni. A tudástól nem félni kell.

Nem szabad felednünk persze, hogy azt az optimizmust, amit az újráfelfedezett evolúciós gondolkodás sokunk számára sugall, nem mindenki osztja. Nem triviális az, hogy ez a felfogás megszüntetheti kettős létezésünket, azt, hogy a tudomány felé mint tárgyi képződmények létezőnk, ugyanakkor szabad emberek is vagyunk. Hogyan is „két világ polgára” (Gadamer, 1988) az ember? Abban az értelemben-e, hogy tekintheti magát a jelentések világa felől, interpretáló hozzáállással, mely a determinisztikusat kiegészíti, s e kettő az emberi lét egymásra redukálhatatlan oldala, vagy abban az értelemben, hogy e két világ egymásból levezethető. Az értelemtili világ ekkor a természet rendjéből fakadna.

Befejezésül hadd idézzem Hans-Georg Gadamer véleményét: „az evolúcióelméleti kísérlet, mind minden olyan kísérlet, ami a természettudományok és a »moráltudományok« kibékítésére törekszik, mélységesen kétes dolog. [...] Kant alapvető nézetét nem tudja eltörölni sem a kanti apriorizmus kiterjesztése a »tisza természettudomány« határain túlra, amit az újkantiánusok végeztek, sem az átértelmezés a modern tapasztalati tudományok felől: két világ polgárai vagyunk. A szabadsággal kapcsolatban nemcsak érzéki, hanem a szabadság »érzékfölötti« álláspontján is állunk.” (Gadamer, 1998, 243.)

Irodalom

- Ben-David, J., Collins, R.: Social factors in the origin of a new science: The case of psychology. *Amer. Sociol. Rev.*, 1966, 31, 451–465
- Ben-David, J.: *The Scientist's Role in Society*. Englewood Cliffs, NJ, Prentice, Hall, 1971.
- Böde Péter, Pléh Csaba, Lányi Gusztáv: *Önarckép háttérrel*. Budapest, Pólya, 1998.
- Campbell, D. T.: On the conflicts between biological and social evolution and between psychology and moral tradition. *American Psychologist*, 1975, 30, 1103–1126
- Danziger, K.: *Constructing the subject*. New York, Cambridge University Press, 1990.
- Dewey, J.: *The Influence of Darwin on Philosophy*. New York, Holt, 1910.
- Dewey, J.: *Az iskola és a társadalom*. Lampel, Budapest, 1912.
- Dienes Valéria: *A mai lélektan főbb irányai*. Budapest, haladás, 1914.
- Dilthey, W.: Ideen über eine beschreibende und zergliedernde Psychologie. *Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften zu Berlin*, 1894, 2, 1309–1407.
- Gadamer, H.-G.: „Két világ polgára”. In Michalski, K. (szerk.): *A modern tudományok emberképe*. Budapest, Gondolat, 1988, 232–244.
- Harkai Schiller Pál: *A lélektan feladata*. Budapest, MTA, 1940.
- Harkai Schiller Pál: *Bevezetés a pszichológiába: A cselekvés elemzése*. Budapest, Pathéon, 1944.
- Julesz Béla: *Dialógusok az észlelésről*. Budapest, Typotex, 2000.
- Kardos Lajos: *A lélektan alapproblémái és a pavlovi kutatások*. Budapest, Akadémiai, 1957.
- Kende Zsigmond: *A Galilei Kör megalakulása*, Budapest, Akadémiai, 1974.
- Kiss György (szerk.): *Pszichológia Magyarországon*. Budapest, Országos Pedagógiai Könyvtár és Múzeum, 1995.
- Marton L. Magda: A nem-tanult mozgásminták kiváltásának folyamatáról: Harkai Schiller Pál elgondolásának távlatai. *Pszichológia*, 1994, 14, 405–428.
- Merton, R.K.: *The sociology of science*. Chicago, The University of Chicago Press, 1973.
- Piaget, J.: *Válogatott tanulmányok*. Budapest, Gondolat, 1970.
- Pléh Csaba: A magyar pszichológia fejlődésének néhány jellemzője a publikációk mennyiségi elemzésének tükrében, 1958–1975. *MTA II. Osztály Közleményei*, 28, 209–231.
- Pléh Csaba : Interdiszciplináris kapcsolatok a pszichológia történetében. *M. Pszichológiai Szemle*, 1984, 41, 181–200.
- Pléh Csaba: Hagyomány és újítás a magyar pszichológiában. *Világosság*, 1984, 25, 153–157.
- Pléh Csaba: *Hagyomány és újítás a pszichológia történetében*. Budapest, Balassi, 1998.
- Pléh Csaba: *A lélektan története*. Budapest, Osiris, 2000.
- Torda Ágnes: Egy tudományos műhely létrejötte a századfordulón. In Kiss, 1995, 31–55.
- Vigotszkij, Sz. L.: *A magasabb pszichikus funkciók fejlődése*. Budapest, Gondolat, 1971.
- Völgyesi Pál: A pályaválasztási tanácsadás történetének áttekintése hazánkban. In Kiss, 1995, 79–97.
- Watson, R. I.: Psychology: A prescriptive science. *American Psychologist*, 1967, 22, 435–443.
- Wundt W.: *A lélektan alapvonalai*. Budapest, Franklin, 1898.

SZENDREI JANKA

Ungarorum Symphonia

Előadásom címe nem a Gellért-legenda ismert, sokat vitatott, kielégítően valószínűleg soha meg nem magyarázható anekdotájára utal. A Symphonia a középkori és reneszánsz terminológiában nem akármilyen hangzás, hanem az *ars* szabályai szerint létrehozott, jól kidolgozott, vertikálisan és horizontálisan egyaránt rendezett harmonikus hangzás, mondjuk ki: a magas rendű műzene. Az ungarusok viszont nemcsak későn lettek ennek tanulói, hanem a történelem (a külső és belső történelmi folyamatok) ismét és ismét vissza is lökték őket a napi használati zene keretei közé, vagy éppen visszatartották őket azon keretek között, melyeket a középkor az *usus* szóval jelölt. Zenetörténetünk végig ekörül forog: átlépni az *usus*-ból az *ars*-ba?; szakítani az uzuális hagyománnyal egy nemzetközi (később meg éppen kozmopolitának bélyegzett), de magasabb szintű zenélésbe?; megmaradni a mező pacsirtáinak egyszerű hangja mellett, amihez a 19. század nótaszerzői saját dalaikat hasonlították?;¹ át lehet-e menteni az uzuális hagyományt a symphoniába?; vagy éppen világra szóló új symphoniát lehet kifejleszteni kedves dalainkból, táncainkból, amint a 19. század első felének zenészei remélték?² A problémát Kodály így élezte ki: „...magyarság és zenei műveltség mintha nem férne meg együtt. Műveltség annyi, mint idegenség, magyarság annyi, mint műveletlenség...”³ Ez a probléma azonban nem a 19. századi magyar társadalom gyengesége, nem is a „haza és haladás” reformkori dichotómiájának késői zenei megfelelője, hanem egész zenetörténetünket végigkísérő ingázás, ingadozás.

Előadásom témája *ebben az értelemben* a magyarok szimfóniája. Amikor az új megjelenik zenetörténetünkben, három dolog történhet. Vagy *töréspontot* hoz a történeti folyamatosságban, vagy olyan *új alapot vet*, melyből új hagyomány sarjad ki, vagy egyedi *új szintézist* eredményez a korábbi formákkal. Ennek néhány példáját szeretném most megmutatni zenei múltunkból. Az események történeti magyarázata már meghaladná a jelen előadás kereteit.

1 Szabolcsi Bence: *A XIX. század magyar romantikus zenéje*. Budapest, 1951, 46.

2 Szabolcsi Bence: *A XIX. század magyar romantikus zenéje*. Budapest, 1951. 73–93.

3 Magyar zenei nevelés. Előadás Pécsen, 1945. In Kodály Zoltán: *Visszatekintés. Összegyűjtött írások, beszédek, nyilatkozatok* I. Sajtó alá rendezte és bibliográfiái jegyzetekkel ellátta Bónis Ferenc. Budapest, 1974, 175.

Amikor a magyarság ezer évvel ezelőtt a kereszténységgel együtt a keresztény kultúrát és iskolázást is átvette, olyan zenei anyaggal került kapcsolatba, mely – ugyancsak Kodály megállapítása szerint – fülének nem volt idegen, hanem zenei szempontból, a hangnemeket, motívikát nézve közelebb állt eddigi világához, mint akár a nyugatabbra élő népek dallamkincse.⁴ A nagy feladatot természetesen az új zene technikájának megtanulása jelentette, hiszen ilyen szintű zenei alkotások kezelése az ars ismereteinek elsajátítása nélkül már nem képzelhető el. Más szavakkal: a gregorián megtanulása nem egyszerűen egy egyházi repertoár elsajátítása volt, hanem egyúttal a zenei előadóművészet, zeneelmélet, zenei írás-olvasás elsajátítása, vagy inkább így mondhatnánk: a zenéhez való új fajta viszony elfogadása.

Az ungarusok jó tanítványnak bizonyultak. A szentgalleni kaland magyarjai (926) még megdöbbenve hallgatták a számukra felfoghatatlan gregorián dallamot; utódaik (1030 körül) az esztergomi kórusban már a Regensburgból hozzájuk látogató Arnold von Vohburgnak szokatlanul hangzó új Emmerám-zsolozsmáját „próbálják ki” s adják először elő. A gregorián szabályos liturgikus használata megkívánta, hogy a 11. században (kolostorokra most nem gondolva) legalább a püspöki és esperesi székhelyeken, a következő századtól pedig már kisebb helyek plébániáin is a teljes napi énekanyagot, összesen évente mintegy 4-5000 tételt megszólaltassanak a papok és iskolások. A siker oka az volt, hogy a karoling modellt komolyan véve, mellette a középkor végéig kitartva a teljes tanulmányifjúságot bekapcsolták a mindennapi, legalább 2-3 órányi énekgyakorlatba. E gyakorlatnak színes képét adja a középkor végéről az egri ordináriuskönyv (Kraków, 1509).⁵ Leírja nemcsak a diákok részvételét a mindennapi misén, vespéráson, hanem a kisdíkok különleges szerepét is a nehéz szólótételek előadásában, egyszerűbb napokon az egész kórus irányításában, továbbá a mellékistentiszteletek zenei kiszolgálásában.

A repertoár elsajátítása együtt járt a zeneelmélet és kottaismeret elemeinek megtanulásával. Mint a 14. századi káptalani statútumok tanúsítják,⁶ a kottairásra rendszeres időt biztosítottak az iskolában, s a késő középkori dokumentumok igazolják a mindennapos, kurzív kottairás széles körű elterjedtségét. Az igen

4 Iskolai énekgyűjtemény. Előszó az I. kötethez, 1943. In Kodály Zoltán: *i. m.* I. 133.

5 Ordinarius secundum veram notulam sive rubricam almae ecclesiae Agriensis. Kiadja Kandra Kabos, In *Adatok az egri egyházmegye történelméhez* III. Eger, 1905. Új, átdolgozott kiadása és fordítása Dobszay Lászlótól megjelenés alatt.

6 Pl. Várad, 1374. L. Bunyitay Vince: *A váradi káptalan legrégebbi statútumai*. Nagyvárad, 1886, 94–98. vö. Szigeti Kilián: *Denkmäler des Gregorianischen Chorals aus dem ungarischen Mittelalter*. *Studia Musicologica*, IV. (1963), 151–152. A cantum scribere kifejezést kottairásra értelmezi Mezey László: *Paleográfia*. Budapest, 1962, 101., vö. Szendrei Janka: *A magyar notáció története*. In *Középkori hangjegyzírások Magyarországon. Műhelytanulmányok a magyar zenetörténethez* I. Budapest, 1983, 70.

jó eredmény nemcsak a fent már említett zenei „rokonságnak” köszönhető, hanem annak is, hogy a befogadott szisztéma számára földrajzilag és időben is egységes, folyamatosan fenntartott életteret biztosított a középkori Magyar Királyság és annak egyházi intézményrendszere. Ez a kellő alapossággal kidolgozott, megteremtett és fenntartott, bizonyos fokig centralizált, de regionális és lokális különbségeknek mégis helyet engedő rendszer nemzetközi viszonylatban elég egyedülállónak minősíthető.⁷

Azonban a tanulás nem pusztá recepció, noha az adott esetben az sem csekély teljesítmény. A repertoár magyarországi válogatása, elrendezése, majd helyi kompozíciókkal való gyarapítása és a nemzetközi dallamok helyi variánsainak kidolgozása határozott ízlésirányt, zenei formaösztönt dokumentál. Az Európába való beilleszkedés és saját hagyományformálás legjobb példája a magyar notáció megalkotása a 12. században, mely Európa legkorszerűbb iskoláihoz csatlakoztatta a hazai gyakorlatot anélkül, hogy szolgai utánzásra készítette volna. Az alkotók felismerték a korabeli olasz, francia újításnak, a vonalrendszer bevezetésének jelentőségét és követelményeit, de a minta mechanikus alkalmazása helyett az akkor már jó 100 éves magyar írásgyakorlat talaján önálló szisztémát teremtve hozták létre a korszerű, új elemekből álló, mégis hagyományos esztergomi hangjegyírást.

Az így kialakított magyar hangjegyírás később egyszerre bizonyult igen konzervatívnak, ugyanakkor az újabb kihívásokhoz alkalmazkodónak, s mély meggyökerezését a 17., itt-ott a 18. századig való fennmaradása igazolja.⁸

A gregorián ének befogadásakor (a már említett mélyebb zenei rokonságon túlmenően) nem épült hazai előzményekre, viszont egy fél évezredes, kihatásai-
ban ennél is hosszabb hazai fejlődésnek lett előzménye, alapja. Más a helyzet az *uzudlis zene* számos műfajánál.

A legvilágosabban áttekinthető ezek között az *epikus ének* ügye. Itt egy régi magyar hagyomány (melynek alaprétegét a recitatív siratóban fedezte fel népzene tudományunk)⁹ összeegyeztethető volt az európai irodalmi és zenei mintákkal. Egyrészt e régi hagyomány európai behatásokra szabad, rögtönzött költészetből lassanként átalakult egyre fixáltabb dallamú, strofikus énekfajjára. A folyamat részletei homályban vannak, de a végeredmény szinte készen jelenik meg szemünk előtt a 16. század históriás zenéjének egyes típusaiban. Másrészt az európai énekköltészetben gyökerező dallamtípusok hozzácsiszolódtak ahhoz a ritmus- és dallamvilághoz, melynek hazánkban már hosszú hagyománya volt.

7 Dobszay László: A középkori magyar liturgia István kori elemei? In *Szent István és kora*. Szerk. Glatz Ferenc és Kardos József. Budapest, 1988, 151–155.

8 Szendrei Janka: op. cit.

9 Dobszay László: *A siratóstílus dallamköre zenetörténetünkben és népzeneinkben*. Budapest, 1983.

E jelenség legkorábbi példája a *Szent László-ének*, melynek rokonai mind Tinódi históriáihoz kapcsolódóan, mind a népzene epikus nyomokat őrző műfajaiban felfedezhetők.¹⁰

Hasonló a helyzet az ún. felsőbb és alsóbb zenekultúra másik határterületén, az *egyházi népénekekben* is. Az európai típusok befolyása természetesen meghatározó: első népénekemlékünk a *Christ ist erstanden* fordítása, s még egy jó tucatnyi közismert európai népének magyar megfelelőjét tudjuk kimutatni a késő középkorig. Ha azonban ezek mellé tesszük azt a néhány, szintén középkori népéneket, mely nagy valószínűséggel magyar alkotás, a két csoport között nem találunk kiáltó stílusellentétet. S ez nemcsak azért van így, mert a magyar alkotások beilleszkedtek az európai zenei normák rácsozatába, hanem azért is, mert maguk az átvett európai dallamok is beilleszkednek a magyar ritmusrendszer és dallamizálás szabályrendszerébe. A 16–17. század dallamtörténete világosan tanúsítja, hogy ami nem így tesz, az papírköltészet marad, s utóélettel nem dicsekedhet.¹¹ Ez az egymásra hatás nemcsak egy meggyőző zenetörténeti folyamatosságot eredményez, hanem azt is, hogy az uzuális magyar zenei gyakorlat képes felvenni az új hatásokat s új stílusokat termelni ki azok ihletésére.

Az újítás és folyamatosság hasonló szintézisének példáit mutatják középkori eredetű *népszokásdallamaink*.¹² E szokáskultúra nem alakulhatott volna ki a honfoglalás előtt: ez mindenestül a letelepült, Közép-Európa agrárnépességével kapcsolatba lépett, az ó-európai népkultúrával, a keresztény kultusz, iskola és társadalmi élet formavilágával megismerkedő magyarság létviszonyainak függvénye. Ugyanakkor itt sem egyszerű átvételről van szó. Az alkotó elsajátítás három szinten jelentkezik. Egyrészt a hagyomány korábbi, esetenként talán több ezer éves elemei helyet kapnak az új keretek között. Másrészt az átvett formatípusokat a nyelvből adódó ritmusrendszer és dallamérzék szerint interpretálják. Harmadrészt, s ez talán a legfontosabb, a különböző eredetű, korú rétegek szerves egybeépítése az egész középkoron át folyhatott, az egyes zenés szokások olyan új és új elemeket vehettek fel a régebbinek sérelme nélkül, hogy a végeredmény egészen sajátosan magyar (mondhatni magyar *történelem*), s alkotóelemeit a zenetörténet és népzene kutatás csak a legfárasztóbb nyomozással tudja kimutatni. Így épülnek össze például a *regölés* szokás-, szöveg-, és dallamvilágában a samanisztikus hitnek, a keletmediterrán kultikus dallamotívumoknak, a keresztény hit- és legendavilágnak, a német kántálótársaságoknak motívumai egy olyan kompakt egészé, melynél még egy tudatos megkomponálás eshetőségével is számolha-

10 Dobszay László: Egy epikus stílus maradványai népzeneinkben. In *Zenatudományi Dolgozatok*, 1982, 39–55.

11 Szendrei Janka–Dobszay László–Rajeczky Benjamin: XVI–XVII. századi dallamaink a népi emlékezetben. I–II. Budapest, 1979.

12 Magyarország zenetörténete I. Középkor. Szerk. Rajeczky Benjamin. Budapest, 1988, 487–584.

tunk. A híres *Szent Iván-i ének* esetében is kimutathatja az elemzés az összetevőket, a korban is különböző rétegeket, mégis az egész sorozat egységes ciklusként működhetett, melynek különböző eredetű darabjait is számos részletelem kapcsolja egymáshoz. Egy igen régi, talán antik eredetű szabad rituális melodika (és persze irodalmi anyag), az archaikus varázslat, az egyházas hagyomány, a középkori társasjáték nyomai, a diákköltészet, a kifinomodott európai latin költészet témái, a középkori szerelmi lírának, a virágénekek jelenléte évszázadokat kapcsol egybe a folyamatosságnak és a középkor végéig tartó folyamatos továbbépülésnek dinamikájában. Ugyanígy elemezhetnénk például a *betlehemes játékban* is az antik pogány elemeket, az iskolás verstanulás, a középkori tánczene, az egyházi énekek és liturgikus allúziók, a rekordációk organikus egységét.

Úgy látszik, e kettőben – a formaalkotás és ritmusvilág terén – követhető legjobban nyomon századokon át a változásban is benn lévő folyamatosság. Még a 18. és 19. század daltermésében is tekintélyes helyet foglalnak el azok a csoportok, melyeket végső soron a klasszikus magyar népzene elfajzásainak tekinthetünk. Ez persze nem menti esztétikai értéktelenségüket, hiszen a nacionálé önmagában nem értékjelző. Ahogy Kodály formulázta: „Magyar víz az is, ami egy magyar ökör lába nyomában meggyülemlik. De csak a verébnek elég jó. Magyar víz a békató is, amelyben magyar béka kuruttyol...”¹³

Amikor a fentiekben kiemeltük a *nyelv szerepét* az európai elemek megmagyarosodásában, egy olyan problémát is felvetettünk, mely a többszólamú műzenének, az *ars jellegzetes terrenumának* történeti visszásságait érinti. Kétségtelen, hogy a többszólamú műzenének Európában egészen a 19. század kezdetéig nem voltak igazán nemzeti irányai, a nemzeti vonások egységes stílusokon belül jelentkeztek, olykor kolorit gyanánt. Így a magyaros műzene hiányát a középkorban vagy a 16–17. században önmagában nem tekinthetjük hátramaradottság jelének. A nemzeti jellegnek előkészítője azonban sok európai országban a nemzetközi stílusnak anyanyelvű szövegekre való alkalmazása. A francia, olasz, német, angol, spanyol, cseh, lengyel nyelvű többszólamúság a késő középkortól kimutatható, a magyar nyelvű többszólamúság hiányát viszont nehéz volna csupán a források elpusztulásával magyarázni. A középkorból fennmaradt többszólamú emlékeink túlnyomó része vagy a kora középkor óta használatos binátim gregorián stílusában íródott, vagy a közép-európai, könnyebb műfajú vallásos kancióstílust követi. Csupán néhány olyan liturgikus kórusművet ismerünk, mely a gregorián fődallamot cizelláltabb kidolgozású szólamokkal követi, vagy éppen (a 15–16. század fordulóján) a korszerű imitációs technika felé közeledik. A királyi (esetleg itt-ott főpapi) környezetben felhangzó, megfigyelők által dicsért burgundiai vagy

13 A magyar karének útja, 1935. In Kodály Zoltán: *i. m.* I. 53–54.

italiai típusú reneszánsz polifóniának kottás emléke nem maradt fenn. Minden többszólamú forrásunk latin nyelvű a középkorban, aminthogy az anyanyelvű egyszólamúság 16–17. századi előretörésének korából is minden fennmaradt többszólamú emlékünknél latin (kivételesen német) nyelvű. Érthető: a török megszállás idején a többszólamú műzene művelése a vegyes lakosságú peremvidéki városok német, itt-ott szláv ajkú szakzenészeinek kezébe ment át. Munkálkodásuk felbecsülhetetlen értékű a zenekultúra meggyökereztetésében, s mint mondtuk, nem a magyar jellegű, csupán a magyar *szövegű* műzene az, amit hiányként emlegetünk. Mindez nem lesz másként akkor sem, amikor a 18. században újra-alapozott magyar műzene – legalábbis egyes városokban és intézményekben – igen gyors ütemben pótolja a lemaradást, megteremtve azokat az együtteseket, melyek a valóban korszerű barokk és bécsi klasszikus ízlésű zenét szólaltatják meg hazánkban. Zeneszerzők is nevelődnek vagy működnek ebben a környezetben – műveik azonban kizárólag latin (ritkábban német) nyelven készülnek. Jelentőségüket mégsem mérhetjük magyarságukon. Egyrészt, mert, mint mondtuk, a zenei műveltséget e korban is egy internacionális stílus határozza meg. Másrészt azért nem, mert mindaz, amit a magyar zene az utolsó 100-150 évben elért, az ő műveltségteremtő munkásságukra épült. Végző elemzésben nekik köszönhető még az a Bartók is, aki a legmagasabb fokon tudta betetőzni ezer év zenetörténetét: létrehozni az újnak és folyamatosnak, a hagyományosnak és kreatívnek, a magyarnak és európainak teljes egységét.

Nemzet és globalizáció: a nevelési értékek változása az iskolában

A magyar közoktatás az 1970-es évek elejétől a folytonos változás, a permanens reform állapotába került. Ezen reformfolyamatoknak köszönhetően a rendszerváltozás nem érte készületlenül sem a közoktatás-politikát, sem a gyakorlati pedagógiát. A nyolcvanas években elterjedő kísérleti tantervek és alternatív pedagógiák megvetik a *pluralizmus* alapjait, a tanügyigazgatásban és a tartalmi szabályozásban pedig ugyanezen időszakban erőteljes *decentralizáció* játszódik le. A szakirodalomban már jól észrevehetően körvonalazódik az a két-szintű vagy bipoláris – központi és helyi komponenst egyaránt tartalmazó – tantervi-tartalmi szabályozási modell, mely a kilencvenes évektől majd a Nemzeti alaptantervben és az ahhoz tartozó szabályozási rendszerben manifesztálódik. A konkrét történések háttérében kezd kibontakozni az iskolai és a pedagógusi *autonómia* iránti fokozott igény, majd követelés. Az 1985. évi oktatási törvényből, mely az új idők első legális jele, az autonómia elővételezése is kiolvasható. [„A pedagógus és az oktató joga, hogy megválassza – a nevelési és oktatási tervek keretein belül – a tananyagot és az alkalmazott módszereket...” 41. § (1) pont.] A közoktatás három demokratikus alapelvének – az iskolaalapítás szabadságának, az iskolaválasztás szabadságának, a tanszabadságnak – deklarálása és törvényi kihirdetése azonban a rendszerváltozás első éveire maradt. Az 1993. évi törvény lefektette a közoktatás demokratikus alapjait, annak 1996. évi módosítása pedig a modernizáció előtt nyitotta meg a kaput. Ugyancsak a nyolcvanas évek végétől datálhatjuk a pártállami egységes iskolarendszer (8 + 4, 8 + 3) fellazulását, majd lassú, fokozatos *diverzifikálódását*. (A tagolódás jelenleg a 10–14 éves generáció 6-7%-ára és a 14–18 éves gimnazisták 30%-ára terjed ki.) Ugyancsak ekkor, a nyolcvanas évek végén, a kilencvenes évek elején válik a közoktatás-fejlesztés szerves részévé a *pedagógiai innováció*. Mindezen hatások fontos következményeként a kezdetben fölülről kezdeményezett reform kiegészül, átalakul alulról fölfelé ható effektusokkal. Az alternatív óvodák és iskolák, valamint a pedagógiai innováció által támogatott intézmények szigetei lassan szigetvilággá zárnak össze, és megkérdőjelezzik a centralizált állami irányítás távoli időkbe nyúló hagyományait és beidegződéseit. Ez nyilvánvalóan csak úgy következhe-

tett be, hogy a pedagógusok jelentős része a saját ügyének kezdte érezni a reformot. A hagyományosan lojális, „hivatalnoklelkületű” pedagógusréteg értelmiségi attitűdöket kezdett felmutatni. Megbízhatónak tűnő becslések szerint a reformban közvetlenül érdekelt, innovatív, helyenként kreatív pedagógusok aránya a kilencvenes évek közepén elérte a szakma 20-25%-át. (Ez kb. 32-40 ezer óvoda-pedagógust, tanítót és tanárt jelent.)

A kilencvenes évek magyar iskolatörténetének – a pluralizmus kibontakozása, az oktatásügyi irányítás és a tartalmi szabályozás decentralizálása, az autonómia iránti igény növekedése és az iskolaszervezet diverzifikációja mellett – további meghatározó jelensége a *középiskolai expanzió*. A nyolcvanas évek végétől tapasztalható, hogy az általános iskola elvégzése után egyre többen törekednek középiskolába (szakközépiskolába, gimnáziumba), és egyre kevesebben választják a szakmunkásképző intézeteket. A régóta fenyegető demográfiai apály következményei is ugyanekkor, 1997 körül válnak szemmel láthatóvá. (1996-ban még 120 ezer, 1997-ben már csak 116 ezer tanuló fejezi be az általános iskolát, és eme enyhén csökkenő trend tartósnak bizonyul.) Összességében 1997-ig *növekszik* az érettségit nyújtó középiskolába iratkozó tanulók *száma*, de mindvégig, napjainkig *növekszik* ezen tanulók *aránya*. A középiskolai expanzió jelenlegi trendje – ha fennmaradhat – azzal biztat, hogy 2010-re a 16–18 éves korú népesség 75-80%-a szerezhet középiskolai érettségit. Ezzel behozhatnánk kb. 30 éves lemaradásunkat a fejlett országok oktatásügyéhez képest, ahol jelenleg már a felsőoktatás és a felnőttoktatás expanziója került napirendre. (A felsőoktatás és a felnőttoktatás expanziójának jelei nálunk is jól észlelhetők. Ámde ha ezt nem előzi meg a középfok kiterjedése, akkor a felsőoktatás merítési bázisa idejekorán kimerülhet.) A magyar középiskolai oktatás expanziója tehát *kettős szorításba* került, és ez a helyzet valószínűleg így is marad az ezredforduló utáni első évtized végéig. Ha tehát az oktatáspolitikai valamilyen okból a középiskolai oktatás expanzióját nem támogatná, a kulturális tőke „termelésében” ismét tartósan lemaradnánk a fejlett országokhoz képest. A kibontakozást nehezítő, lassító körülmény, hogy a szelektív iskolázáshoz szocializált gimnáziumi tanárság – mely igen erős érdekérvényesítő pozícióval rendelkezik – nagyobbik része ellenérdekelt az expanzióban, és pedagógiai kultúrája sem alkalmas arra, hogy a tömegoktatás kihívásainak eleget tegyen. Egy globalizálódó világban, ahol az oktatás mind horizontálisan (az oktatásban részt vevők körére értve), mind vertikálisan (az emberek életútjára vonatkoztatva) kiterjedőben van, és ahol – a szubszidiaritás elvének megfelelően – a szakmai döntések fokozódó mértékben kerülnek iskolai és fenntartói testületek elé, az iskolai-oktatási folyamatok gátlásának vagy lassításának messzemenő társadalmi következményei lehetnek.

Az oktatás tömegessé válásának és expanziójának ismert negatív következménye – ha az oktatás tartalmát és módszereit állandónak vesszük – az *egyenlőtlen-*

ségek növekedése. Ez globalizálódó világunk nem elhanyagolható iskolai problémája, melynek a társadalmi következményei is súlyosak. A modern társadalmakat fenyegető szakadás egyrészt alulképzettekre, munkanélküliekre, lézengőkre, másrészt képzetekre, alkotókra és teljes életet élőkre az iskolában kezdődik. A tömegoktatás káros hatásainak kivédése az oktatási minőség gondozásával és az iskolai kondíciók javításával érhető el, amint arra jó példák láthatók Európa északi régiójában, Finnországban, Svédországban. Európai csatlakozásunk szempontjából sem mindegy, hogy az ország milyen szélességű és minőségű kulturális tőkével érkezik az Unióba.

A közoktatási reformnak a kilencvenes évekre eső szakaszában már sem az oktatáspolitikában, sem a gyakorlati pedagógiában *nem beszélhetünk egységes nevelési értékekről vagy értékrendről*. Ez a pártállami maradvány szinte pillanatok alatt tűnt el, de valójában korábban sem létezett – legfeljebb deklarációkban. Kísérlet ugyan történt a nemzeti alaptanterv első változatának készítésekor (1990) egy humanista, a különböző nézeteket átfogó „közös” értékrend alkotására, de a viták a próbálkozást elsöpörték. Az iskolai nevelés emberi eszményének (eszményeinek?) megdőlése persze nem közép-kelet-európai specifikum. Az érték-pluralizmus iskolai megvalósítása a demokratikus oktatásügyek számára is fogós kérdésnek bizonyult. „A nevelésnek a posztmodern gondolkodásban nincs »eszménye« az emberről” – írja Mihály Ottó *Bevezetés a nevelésfilozófiába* című könyvében.¹ A pártállam megszűnése utáni érték-vákuumba, élve a pluralizmus lehetőségeivel, több, egymással is versengő érték és értékrend nyomult be. Idesorolható az idősebb generáció egy jelentős részének „magyar és keresztény” nevelési eszméje, a nyolcosztályos gimnázium iránti nosztalgiaja. Jelentős körülmény, hogy a történelmi egyházak végre egyértelmű szabadságot kaptak, hogy hitéletük szerint szervezhessék a nevelést és az oktatást számbelileg is egyre gyarapodó iskoláikban. Tanúi lehetünk az esélyegyenlőség és ezzel kapcsolatban a komprehenzív iskola pedagógiai filozófiája újraértelmezésének és a hazai hagyományokhoz adaptálásának. (Más kérdés, hogy ezt az értékrendet a negyven év örökségének vagy a modern szociáldemokrácia oktatási teljesítményének tekintjük-e.) És számos más, nevelési érték és értékrend (pl. Waldorf-, Montessori-, Freinet-pedagógia) kért teret ebben a mozgalmas évtizedben. Amit azonban a legfontosabbnak érzünk, az a magyar pedagógiai gondolkodást hosszú időn át meghatározó *nemzeti értékrend* és a jelen nagy kihívása, a *globalizáció*.

Liberális és konzervatív elődeink egyformán fontosnak tartották az oktatás és a nevelés nemzeti jellegének hangsúlyozását. Ez persze nem lehetett másként a nemzetállami viszonyok között, abban a társadalmi helyzetben, amikor a 19. szá-

1 Mihály Ottó: *Bevezetés a nevelésfilozófiába*. Budapest, Okker, 1998, 29.

zad utolsó harmadában a fejlett nyugat-európai nemzetállamok sorra hozták létre saját nemzeti iskolarendszereiket. A nemzetállamok iskolarendszereinek lassú evolúciós szakaszában – a népoktatási törvények megalkotásától a második világháború végéig – a nemzeti értékrendek szinte kizárólagosan határozták meg az iskolák nevelési normáit és a tananyagot. Különösen az ún. „nemzeti” tantárgyakban – mint amilyen kitüntetetten az irodalom és a történelem – tapasztalhatjuk, hogy életkortól és iskolatípustól ugyan függően, de mindig domináns terjedelmet kap a nemzeti irodalom és a nemzeti történelem, szemben Európa vagy a világ irodalmával és történetével, és az arányokat tekintve ellentétben a mai európai és amerikai gyakorlattal. A tankönyvek nemzetek közötti összehasonlító elemzéséből jól ismert, hogy a nemzeti tantárgyak tankönyvei igen gyakran elfogult és nacionalista koncepciókat is tükröztek (tükröznek?). A nemzeti értékrendek veretes tradicionalizmusát, patriotizmusát a nemzeti értékrend extrém, nacionalista-irredenta megnyilvánulásai, a világháborúk, a népirtások (holokauszt, Gulag, és ki tudja, mi jön még...) erősen kikezdi, devalválják, mégis, a nacionalista lejáratás és a marxista kisajátítás dacára a *nemzeti értékrend patrióta vonulata* maradandó értéknek bizonyult a társadalom és az iskola világában. E tradíció állandóságát a globalizáció sem fogja megkérdőjelezni, bár könnyen lehet, hogy dominanciáját, egyedülvalóságát azért majd kétségbe vonja.

A kilencvenes évek túlfűtött, átpolitizált szakmai-pedagógiai vitáiban sokszor lehetett tapasztalni, hogy a nemzeti nevelési értékrend kétféle tradíciója – a nacionalista és a patrióta – szinte minden szakmai kérdésben mereven szembekerült egymással. Sok vitázó a nemzeti értékrendet mint pajzsot tartotta progresszió és modernizáció ellenes nézetei elé, ezzel nehéz helyzetbe sodorva azokat, akik a nemzeti értékrend patrióta hagyományait tekintették maradandó értéknek, ugyanakkor nyitni kívántak a globalizáció felé. És fordítva, a globalizáció bizonyára túlzó képviselői sem maradtak adósak. Nyíri Kristóf egy írásában például, a globalizáció és a nemzetállam összefüggéseit elemezve, többek között így fogalmaz: „...ha a szakmai közlés-közlekedés igényelte kompetenciának nem a nemzeti nyelvhez kell kötődnie, úgy ezzel az egységes nemzeti iskolarendszer is fölöslegessé válik.”²

Szinte elképzelhetetlen, hogy – miközben a politika, a gazdaság, a munkaerőpiac, a kommunikáció, a környezetvédelem az országok határait túlnövi, globalizálódik – ez a folyamat ne lenne hatással az oktatáspolitikára, de az iskola belső életére, az oktatás tartalmára, a nevelés értékrendjére is. A nemzeti oktatáspolitikák akkor, azáltal és attól függően globalizálódnak (válnak alkalmassá a globális értékek pedagógiai alkalmazására), hogy: a) az állam milyen mértékben tud le-

2 Nyíri Kristóf: Globális társadalom és lokális kultúra a hálózottság korában. *Magyar Tudomány*, 1998, 11. 32, 1291.

mondani saját túlhatalmáról, b) milyen nagyságú mozgástér keletkezik a szakmai döntések decentralizációjához vagy – a másik oldalról nézve – a helyi autonómiák kibontakozásához, c) az oktatáspolitikai kitüntetésen kezeli-e korunk nagy kihívását az oktatás horizontális és vertikális expanzióját, és végül, d) képes-e biztosítani az oktatás és a nevelés minőségét. Összefoglalóan: azt kell mérlegelni, az oktatáspolitikai megfelelő elszántsággal rendelkezik-e arra, hogy minden lehetséges anyagi és intellektuális forrást a „lifelong learning” filozófiájának, a *tanulástársadalmának* a megvalósítására fordítsanak?

A gyakorlati pedagógiában jól észlelhető, hogy az uniós csatlakozás lehetősége élenkítően hatott a folyamatokra. A magyar közoktatásban, főként annak középiskolai szektorában, számos iskola talált társiskolára a határainkon túl, és ma már nem tartozik a ritkaságok közé az iskolák, a pedagógusok és a tanulók közti nemzetközi kapcsolat. Az EU-csatlakozás és a globalizáció szempontjából egyformán fontos idegennyelv-tanítás és -tanulás terén az utóbbi tíz évben gyökeres változások következtek be: az orosz nyelv tanításának 40 éves dominanciáját sikerült az angol és a német nyelv tanításának a javára fordítani. Nem is akármilyenek ezek az eredmények: míg az EU nem angolszász országokban 1995-ben a 7–12. évfolyamon a tanulók 89%-a tanul angolul, nálunk a 78%-a. (Igaz, Hollandiában, Svédországban, Finnországban ugyanezen korosztály 100%-a tanul angolul!)³

Talán a globalizáció megértése és elfogadása miatt is fontos, hogy a sokat vitatott, 1995-ben legalizált, majd 1998 után újra megkérdőjelezett Nemzeti alaptanterv a minden tantárgyra érvényes célok között nemcsak a nemzeti identitást, hanem az európai és a globális értékek iránti nyitottság értékeit is előírja: „Alakuljon ki a tanulóknak pozitív viszony a közös európai értékekhez... Szerezzenek információkat az emberiség közös (globális) – főleg Magyarországot közelebbről érintő – problémáiról, az ezek kezelése érdekében kialakuló nemzetközi együttműködésről... Az iskolák és a tanulók törekedjenek arra, hogy valamilyen módon közvetlenül is részt vállaljanak a nemzetközi kapcsolatok ápolásában.”⁴

De mintha megtört volna a jég a jelesül „nemzeti” tantárgynak kikiáltott történelem tantárgyban is. A Nemzeti alaptantervben a 8. és a 10. évfolyam végére meghatározott minimális teljesítmény (amit mindenkinek tudnia kellene) harmonikusan oszlik meg a hazai és a világtörténet (főleg Európa-történet) tárgykörei között. (A 8. évfolyam 45 témaköre közül 22 tartozik a világtörténethez, és 23 a magyarhoz. A 10. évfolyam 44 témaköre 21:23 arányban oszlik meg a világ- és magyar történelem témái között. És igen sok utalás található az európai és a glo-

3 Key data on education in the European Union. European Commission. Luxembourg, 1997.

4 Nemzeti alaptanterv. Művelődési és Közoktatásügyi Minisztérium, 1995, 11.

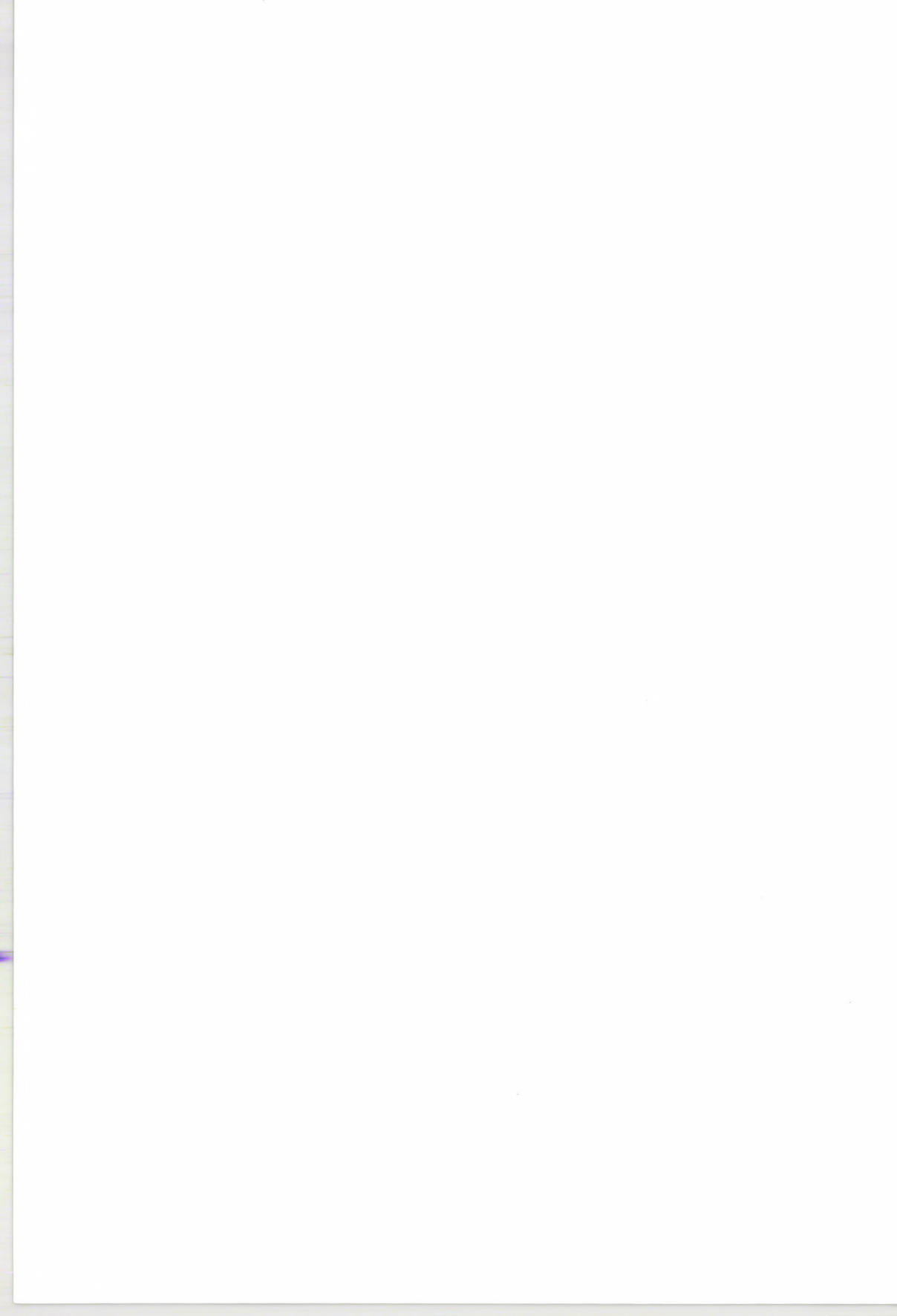
bális dimenziókra.) Nem ilyen kedvező a helyzet a globalizáció szempontjából a másik „nemzeti” tantárgyban, az irodalomban. A világirodalmi irányzatok kiegyensúlyozott említése mellett alig találhatunk utalásokat a világirodalom műveire és szerzőire. (A Nemzeti alaptanterv irodalom része említi Verne egy művét, Defoe *Robinsonját*, az antik mitológia, a *Biblia*, az *Iliász*, az *Odüsszeia* egy-egy jellemző részletét, valamint Shakespeare, Szophoklész, Molière egy-egy művét.)⁵

A globalizáció térnyerése az iskolai nevelés értékrendjében megállíthatatlan folyamat. Az iskola ebben csak azt teheti, hogy követi a társadalmat. De azért nincs arról sem szó, hogy a globális értékrend gyengítené az oktatás „nemzeti” karakterét, vagy maga alá gyúrná a nemzeti, patrióta értékrend hagyományát, és ezzel kikezdené a nemzeti identitást. A modern iskolában az *értékek hierarchiáját párhuzamosan rendezett, egyenértékű értékek* foglalják el. Így tehát korunkban egy autonóm iskola jól teszi, ha nevelési értékrendjét három, egyformán releváns értékdimenzióban tételezi: a helyi közösség, a nemzet és a nemzetek feletti világ (közelebbről Európa, távolabbról a világ) szempontjai szerint. Állandóság és változás, nemzet és globalizáció együtt alakítják azt a teret, melyben az ezredforduló oktatási eseményei értelmezhetők, és amelyből a jövő trendjei kiolvashatók. Az oktatási reform hullámvasútja ebben az erőterben halad, miközben hol ide, hol oda leng ki.

5 *Nemzeti alaptanterv*. Művelődési és Közoktatásügyi Minisztérium, 1995, Magyar: 49–53. Történelem: 107–117.

MATEMATIKAI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYA

A VALÓSZÍNŰSÉG-SZÁMÍTÁS ÉS A MATEMATIKAI STATISZTIKA HATÁRELOSZLÁSAI



Határértéktételek a lokális idő Hilbert-transzformáltjára

Legyen $\{W(t), t \geq 0\}$ egy standard Wiener-folyamat, azaz olyan Gauss-folyamat, melyre

$$E(W(t)) = 0, \quad E(W(s)W(t)) = \min(s, t), \quad s, t \geq 0. \quad (1)$$

A Wiener-folyamat lokális idejét a következőképpen definiáljuk:

$$L(t, x) = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{1}{2\varepsilon} \left| \left\{ s: 0 \leq s \leq t, \quad x - \varepsilon \leq W(s) \leq x + \varepsilon \right\} \right|, \quad (2)$$

ahol $|\cdot|$ a függőleges vonalak között lévő halmaz Lebesgue-mértékét jelöli. Ismeretes, hogy $\{L(t, x), 0 \leq t < \infty, -\infty < x < \infty\}$ 1 valószínűséggel létezik, és mindkét változójában folytonos. Továbbá $f(x)$ mérhető függvényre

$$\int_0^t f(W(s)) ds = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) L(t, x) dx. \quad (3)$$

A lokális idő tulajdonságaira vonatkozó eredményeket lásd például Révész [13].

A (3) formulát formálisan alkalmazva az $f(x) = 1/x$ függvényre, ezt kapjuk:

$$\int_0^t \frac{ds}{W(s)} = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{L(t, x)}{x} dx. \quad (4)$$

Az itt szereplő integrálok azonban közönséges (Riemann-) értelemben nem léteznek. Az úgynevezett Cauchy-főértékük azonban létezik, amit a következőképpen értelmezhetünk:

$$\text{Cf} \int_{-a}^b \frac{g(x)}{x} dx = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \left(\int_{-a}^{-\varepsilon} \frac{g(x)}{x} dx + \int_{\varepsilon}^b \frac{g(x)}{x} dx \right). \quad (5)$$

Itt Cf azt jelenti, hogy az utána szereplő integrál Cauchy-főértékként van értelmezve. A továbbiakban ezt külön nem jelöljük, ha egy integrál közönséges értelemben nem létezik, azt Cauchy-főértékként értelmezzük, amennyiben ez utóbbi létezik. Természetesen vannak olyan integrálok, amik még Cf -ként sem értelmezhetők. Ezek után definiálhatjuk egy $f(x)$ függvény Hilbert-transzformációját a következőképpen:

$$\mathfrak{H}f = g(z) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{f(x)}{x-z} dx, \quad (6)$$

amennyiben ez utóbbi integrál Cf -ként értelmezhető. Az analízisben értelmezett ilyen és hasonló szinguláris integrálokra vonatkozóan lásd [10], [15]. A lokális idő (mint az x változó függvénye) Hilbert-transzformáltja tehát a következő:

$$\begin{aligned} H(t, z) &= \mathfrak{H}L = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{L(t, x)}{x-z} dx = \\ &= \frac{1}{\pi} \int_0^t \frac{ds}{W(s)-z} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{L(t, z+y) - L(t, z-y)}{y} dy. \end{aligned} \quad (7)$$

Belátható a lokális idő tulajdonságai alapján, hogy ez utóbbi integrál már közönséges értelemben is létezik.

A fenti formulával definiáltunk egy $\{H(t, z), 0 \leq t < \infty, -\infty < z < \infty\}$ kétváltozós sztochasztikus folyamatot, amely 1 valószínűséggel létezik. Ezt a folyamatot és alapvető tulajdonságait már sokan vizsgálták az irodalomban. A következő dolgozatokra utalunk: [8], ahol annak fizikai vonatkozásait tárgyalják, továbbá [2], [3], [9], [14], [16], [17], [18], [19], [20], [21].

Yamada [17] megmutatta, hogy $H(t, z)$ mindkét változójában 1 valószínűséggel Hölder-folytonos, azaz

$$|H(t, z) - H(s, z)| \leq C_1 |t-s|^{1/2-\varepsilon} \quad (8)$$

és

$$|H(t, z_1) - H(t, z_2)| \leq C_2 |z_1 - z_2|^{1/2-\varepsilon}. \quad (9)$$

Legyen továbbá $g = \mathfrak{H}f$. Ekkor

$$\int_0^t g(W(s)) ds = \int_{-\infty}^{\infty} f(z) H(t, z) dz. \quad (10)$$

Igaz a következő határelosztás:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} \int_0^{\lambda t} g(W(s)) ds \xrightarrow{\lambda \rightarrow \infty} \bar{f} H(t, 0), \quad (11)$$

ahol

$$\bar{f} = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx,$$

és \Rightarrow gyenge konvergenciát jelent a megfelelő téren. A (11) formula nemcsak rögzített t -re állít határelosztást, hanem a véges dimenziós eloszlások konvergenciáját is jelenti.

Legyen most $z = 0$ és $H(t) = H(t, 0)$. A következőkben a $H(t)$ egyváltozós folyamat tulajdonságait vizsgáljuk.

A (7) formula alapján írhatjuk:

$$H(t) = \frac{1}{\pi} \int_0^t \frac{ds}{W(s)} = \frac{1}{\pi} \int_0^\infty \frac{L(t, y) - L(t, -y)}{y} dy. \quad (12)$$

A $H(t)$ folyamat sok szempontból hasonló tulajdonságokat mutat, mint a Wiener-folyamat, azonban az alapvetően „szép” tulajdonságok, mint a független növekményűség, martingálság, normális eloszlás, nem öröklődik át. Éppen ezért a $H(t)$ folyamat nehezebben kezelhető, mint a Wiener-folyamat. Például amíg $W(t)$ eloszlása normális, addig a $H(t)$ folyamat véges dimenziós eloszlásai nem ismertek. A skálatulajdonság, azaz

$$H(ct) \stackrel{D}{=} \sqrt{c} H(t) \quad (13)$$

azonban igaz. Itt $\stackrel{D}{=}$ jelenti, hogy a két folyamat eloszlásban megegyezik. $H(1)$ sűrűségfüggvényét Biane és Yor [2] határozták meg:

$$\psi(u) = \sqrt{\frac{2}{\pi^3}} \sum_{k=0}^{\infty} (-1)^k \exp\left(-\frac{(2k+1)^2 u^2}{8}\right), \quad u \geq 0. \quad (14)$$

Ebből következik például a következő aszimptotika:

$$\log P(H(1) > u) \sim -\frac{u^2}{8}, \quad u \rightarrow \infty. \quad (15)$$

Ezen aszimptotika alapján az iterált logaritmustételt az utóbbi időben bizonyította Hu és Shi [12]: 1 valószínűséggel:

$$\limsup_{t \rightarrow \infty} \frac{H(t)}{\sqrt{8t \log \log t}} = 1. \quad (16)$$

Az [5] dolgozatban tovább vizsgáltuk a $H(t)$ folyamat tulajdonságait, és a folytonossági modulusra, illetve a nagy növekményekre az alábbi eredményeket bizonyítottuk:

1. TÉTEL. 1 valószínűséggel igazak a következők:

$$\lim_{h \rightarrow 0} \frac{\sup_{0 \leq t \leq 1} \sup_{0 \leq s \leq h} |H(t+s) - H(t)|}{2\sqrt{h \log(1/h)}} = 1 \quad (17)$$

és

$$\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{\sup_{0 \leq t \leq T-a_T} \sup_{0 \leq s \leq a_T} |H(t+s) - H(t)|}{2\sqrt{a_T \log(T/a_T)}} = 1, \quad (18)$$

ahol a_T és T/a_T monoton növekvő függvények, és $\lim_{T \rightarrow \infty} (T/a_T)/(\log \log T) = \infty$.

Egy újabb eredmény [6] a (16) iterált logaritmustétel Strassen-féle változata, illetve együttes funkcionális iterált logaritmustétel a $W(t)$ és $H(t)$ folyamatokra.

2. TÉTEL. Legyen

$$\psi_t(u) = \frac{W(ut)}{\sqrt{2t \log \log t}}, \quad 0 \leq u \leq 1, \quad (19)$$

és

$$\chi_t(u) = \frac{H(ut)}{\sqrt{8t \log \log t}}, \quad 0 \leq u \leq 1. \quad (20)$$

A $(\psi_t(u), \chi_t(u))$ függvénpárok halmaza $t \rightarrow \infty$ esetén relatív kompakt a $C^2[0,1]$ függvénytéren, és határpontjai a $(h(u), k(u))$ függvénpárok következő halmaza:

$$S^2 = \{(h(u), k(u)), 0 \leq u \leq 1, h(0) = k(0) = 0,$$

h és k abszolút folytonosak,

$$\int_0^1 ((h'(u))^2 + (k'(u))^2) du \leq 1, \quad h(u)k'(u) \equiv 0. \quad (21)$$

A (21) formulában szereplő $h(u)k'(u) \equiv 0$ feltétel szemléletesen azt fejezi ki, hogy abban a pontban, ahol a W értéke nagy, a H folyamat nem növekedhet.

A [7] dolgozatban a (11) határérték-reláció úgynevezett erős approximációs változatát vizsgáltuk.

3. TÉTEL. *Alkalmos valószínűségi mezőn tudunk konstruálni egy $W(s)$ Wiener-folyamatot és $\tilde{H}(t)$ folyamatot, melynek eloszlása megegyezik a $H(t)$ folyamat eloszlásával, és elég kicsi ε esetén 1 valószínűséggel:*

$$\int_0^t g(W(s)) ds = \bar{f} \tilde{H}(t) + O(t^{1/2-\varepsilon}) \quad (22)$$

midőn $t \rightarrow \infty$.

Itt g az f Hilbert-transzformáltja, és

$$\bar{f} = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx.$$

A [7] dolgozatban vizsgáltuk $H(t, z)$ folyamat z változása szerinti viselkedését is. Erről azonban még elég keveset tudunk. Egy eredmény a következő:

4. TÉTEL.

$$\frac{H(t, \varepsilon z) - H(t, 0)}{\sqrt{\varepsilon}} \xrightarrow{\varepsilon \rightarrow 0} B(L(t, 0), z), \quad (23)$$

ahol $B(\cdot, \cdot)$ egy $L(t, 0)$ lokális időtől független kétparaméteres Wiener-folyamat, \Rightarrow pedig gyenge konvergenciát jelöl a megfelelő függvénytéren.

Végül megemlítjük, hogy a Hilbert-transzformáció kiterjesztéseként vizsgálhatjuk az úgynevezett frakcionális deriváltat:

$$\begin{aligned} H_\alpha(t, z) &= \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{L(t, x)}{(x - z)^\alpha} dx = \\ &= \frac{1}{\pi} \int_0^t \frac{ds}{(W(s) - z)^\alpha} = \frac{1}{\pi} \int_0^\infty \frac{L(t, z + y) - L(t, z - y)}{y^\alpha} dy. \end{aligned} \quad (24)$$

Itt a hatvány $u^\alpha = |u|^\alpha \operatorname{sgn}(u)$ formulával van értelmezve. Az erre vonatkozó eredményeket lásd [4], [7], [9], [18]. Itt legtöbbször a határérték-relációkban legfeljebb a nagyságrendet lehet megkapni, a pontos konstansok meghatározása gyakran igen nehéz, sőt reménytelen probléma.

A tanulmány az OTKA T 019346 és T 029621 támogatásával készült.

Irodalom

1. Bertoin, J.: Complements on Hilbert Transform and the Fractional Derivative of Brownian Local Times. *J. Math. Kyoto Univ.*, 30 (1990), 651–670.
2. Biane, Ph., Yor, M.: Valeurs principales associées aux temps locaux browniens. *Bull. Sci. Math.*, 111 (1987), 23–101.
3. Chung, K. L.: On the Maximum Partial Sums of Sequences of Independent Random Variables. *Trans. Am. Math. Soc.*, 64 (1948), 205–233.
4. Csáki, E., Csörgő, M., Földes, A., Shi, Z.: Path properties of Cauchy's Principal Values Related to Local Time. Preprint.
5. Csáki, E., Csörgő, M., Földes, A., Shi, Z.: Increment Sizes of the Principal Value of Brownian Local Time. Preprint.
6. Csáki, E., Földes, A., Shi, Z.: On Joint Functional LIL Concerning the Wiener Process, its Local Time and Principal Value. Előkészületben.
7. Csáki, E., Shi, Z., Yor, M.: Fractional Brownian Motions as Fractional Derivatives of Brownian Local Times. Előkészületben.
8. Ezawa, H., Klauder, J. R., Shepp, A.: Vestigial Effects of Singular Potentials in Diffusion Theory and Quantum Mechanics. *J. Math. Phys.*, 16 (1975), 783–799.
9. Fitzsimmons, P. J., Gettoor, R. K.: Limit Theorems and Variation Properties for Fractional Derivatives of Local Time of a Stable Process. *Ann. Inst. Henri Poincaré*, 28 (1992), 311–333.
10. Hardy, G. H., Littlewood, J. E.: Some Properties of Fractional Integrals, I. *Math. Zeit.*, 27 (1928), 565–606.
11. Hirsch, W. M.: A Strong Law for the Maximum Cumulative Sum of Independent Random Variables. *Comm. Pure Appl. Math.*, 18 (1965), 109–127.
12. Hu, Y., Shi, Z.: An Iterated Logarithm Law for Cauchy's Principal Value of Brownian Local Times. *Exponential Functionals and Principal Values Related to Brownian Motion* (M., Yor, ed.), 211–223. Biblioteca de la Revista Matemática Iberoamericana, Madrid, 1997.
13. Révész, P.: *Random Walk in Random and Non-Random Environments*. World Scientific, Singapore, 1990.
14. Revuz, D., Yor, M.: *Continuous Martingales and Brownian Motion*. Third edition. Springer, Berlin, 1999.
15. Stein, E. M.: *Singular Integrals and Differentiability Properties of Functions*. Princeton University Press, Princeton, 1970.
16. Yamada, T.: On some Representations Concerning the Stochastic Integrals. *Probab. Math. Stat.*, 4 (1984), 153–166.
17. Yamada, T.: On some Limit Theorems for Occupation Times of One Dimensional Brownian Motion and its Continuous Additive Functionals Locally of Zero Energy. *J. Math. Kyoto Univ.*, 26 (1986), 309–322.
18. Yamada, T.: Principal Values of Brownian Local Times and Their Related Topics. *Itô's Stochastic Calculus and Probability Theory* (N. Ikeda, S. Watanabe, M. Fukushima, H. Kunita, eds.), 413–422. Springer, Berlin, 1996.
19. Yor, M.: Sur la transformée de Hilbert des temps locaux browniens et une extension de la formule d'Itô. *Sém. Probab. XVI* (J. Azéma, P. A. Meyer and M. Yor, eds.), Lecture Notes in Mathematics 920, 238–247. Springer, Berlin, 1982.
20. Yor, M.: *Some Aspects of Brownian Motion. Part I: Some Special Functionals*. ETH Zürich Lectures in Mathematics. Birkhäuser, Basel, 1992.
21. Yor, M.: *Some Aspects of Brownian Motion. Part II: Some Recent Martingale Problems*. ETH Zürich Lectures in Mathematics. Birkhäuser, Basel, 1992.

A majdnem biztos invarianciaelv és annak mélyebb háttere

Idézzük fel a következő valószínűség-számítási eredményt:

1. TÉTEL. Legyen $X_n(\omega)$, $EX_n = 0$, $EX_n^2 = 1$, $n = 1, 2, \dots$, független egyforma eloszlású valószínűségi változók sorozata, és jelölje

$$S_n(\omega) = \sum_{j=1}^n X_j(\omega), \quad n = 1, 2, \dots$$

a belőlük készített részletösszegek sorozatát. Ekkor

$$\frac{1}{\log n} \sum_{k=1}^n \frac{1}{k} I\left(\frac{S_k(\omega)}{\sqrt{k}} < x\right) \rightarrow \Phi(x) \quad \text{egy valószínűséggel} \quad (*)$$

minden valós x számra, ahol $I(A)$ az A halmaz indikátorfüggvényét jelöli, és $\Phi(\cdot)$ a standard normális eloszlásfüggvény.

Tegyük néhány megjegyzést ezzel az eredménnyel kapcsolatban.

A centrális határeloszlás-tétel szerint

$$P\left(\frac{S_k}{\sqrt{k}} < x\right) \sim \Phi(x) \quad \text{nagy } k \text{ számokra,}$$

tehát a fent idézett eredmény azt jelenti, hogy az

$$A_k = \left\{ \frac{S_k}{\sqrt{k}} < x \right\}$$

események bekövetkezésének súlyozott átlaga alkalmas súlyokkal egy valószínűséggel létezik, és megegyezik a $\lim_{k \rightarrow \infty} P(A_k)$ számmal.

$$(\text{Jegyezzük meg, hogy } \sum_{k=1}^n \frac{1}{k} \sim \log n.)$$

Felmerülnek a következő kérdések:

1. Mi az oka a fent idézett eredménynek?
2. Miért éppen az 1. Tételben említett súlyozást tekintettük?
3. A megfogalmazott tétel egy partikuláris állítás, vagy annak háttérében egy mélyebb, általánosabb eredmény áll?

Előadásomban ezeket a kérdéseket és néhány hozzájuk kapcsolódó problémát tárgyaltam.

Ha az 1. Tételben tekintett súlyozott átlag helyett a közönséges, súlyozás nélküli átlagot, azaz az

$$\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n I\left(\frac{S_k}{\sqrt{k}} < x\right)$$

kifejezéseket tekintjük, és elvégezzük az $n \rightarrow \infty$ határátmenetet, akkor ezeknek a kifejezéseknek nem elfajuló határeloszlásuk van ($x = 0$ esetén a limeszt a valószínűség-számítás egyik híres eredménye, az arcus-sinus törvény írja le). Ez azt is jelenti, hogy ebben az esetben nem érvényes az 1. Tételben megfogalmazott eredmény természetes analogonja.

A későbbi tárgyalás érdekében érdemes megfogalmazni a (*) relációnak egy általánosabb alakját. Defináljuk a következő $S_k(t, \omega)$, $0 \leq t \leq 1$, $k = 1, 2, \dots$, (véletlen) töröttvonal-függvényeket:

$$S_k\left(\frac{j}{k}, \omega\right) = \frac{S_j(\omega)}{\sqrt{k}},$$

és $S_k(t, \omega)$ lineáris függvény a $\left[\frac{j}{k}, \frac{j+1}{k}\right]$ intervallumban.

Legyen \mathfrak{I} folytonos (vagy kissé általánosabban a Wiener-mérték szerint egy valószínűséggel folytonos), korlátos funkcionál a $C([0,1])$ téren, azaz a $[0,1]$ intervallumon folytonos függvények terén a szuprémum normával. Ekkor

$$\frac{1}{\log n} \sum_{k=1}^n \frac{1}{k} \mathfrak{I}(S_k(\cdot, \omega)) \rightarrow \int \mathfrak{I}(u(\cdot)) d\mu_w(u) \quad \text{egy valószínűséggel} \quad (**)$$

ahol μ_w a Wiener-mérték, azaz a Wiener-folyamat eloszlása a $C([0,1])$ téren. Speciálisan, az

$$\mathfrak{I}(u(\cdot)) = \begin{cases} 1 & \text{ha } u(1) < x \\ 0 & \text{ha } u(1) \geq x \end{cases}$$

választással kapjuk, hogy a (*) formula a (**) reláció speciális esete.

Következő célunk az, hogy megértsük: Miért érvényes a (**) formula? A következő a) és b) észrevételt tesszük:

a) Ha $W(t)$, $t \geq 0$ Wiener-folyamat a $[0, \infty)$ félegyenesen, \mathfrak{I} folytonos funkcionál a $C([0,1])$ téren, akkor érvényes a

$$\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{\log T} \int_1^T \frac{1}{t} \mathfrak{I}(W_t(\cdot)) dt = \int \mathfrak{I}(x) d\mu_w(x) \quad \text{egy valószínűséggel}$$

$$\text{reláció, ahol } W_t(s, \omega) = \frac{W(st, \omega)}{\sqrt{t}}, \quad 0 \leq s \leq 1, \quad t \geq 1,$$

a Wiener-folyamat a t paramétertől függő alkalmas átskálázása.

b) A valószínűség-számítás egyik klasszikus eredménye szerint (invarianciaelv) a korábban már definiált $S_k(\cdot)$ töröttvonal-függvények teljesítik az

$$S_k(\cdot) \Rightarrow \mu_w, \quad \text{ha } k \rightarrow \infty$$

relációt, ahol μ_w a Wiener-mérték, és \Rightarrow a gyenge konvergenciát (az eloszlásbeli konvergencia általánosítását) jelöli általánosabb terekben. Ez az eredmény azt sugallja, hogy a

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{\log N} \sum_{k=1}^N \frac{1}{k} \mathfrak{I}(S_k(\cdot, \omega))$$

$$\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{\log T} \int_1^T \frac{1}{t} \mathfrak{I}(W_t(\cdot, \omega)) dt$$

kifejezések hasonló törvényszerűségeknek tesznek eleget.

A később részletesebben megmagyarázandó a) és b) állítások a következő képet sugallják: Az a) állításban a határfolyamatra fogalmaztunk meg valamilyen törvényszerűséget. A b) állítás azt sugallja, hogy az ilyen törvényszerűségek öröklődnek azokra a folyamatokra is, melyek a határfolyamat vonzási tartományában vannak.

Az a) állítást a következő módon magyarázhatjuk meg, illetve általánosíthatjuk. Legyen $W(t, \omega)$, $t \geq 0$, Wiener-folyamat. Ekkor a valószínűség-számítás egyik klasszikus eredménye szerint az

$$U(t, \omega) = \frac{W(e^t, \omega)}{e^{t/2}}$$

transzformációt alkalmazva az úgynevezett Ornstein–Uhlenbeck folyamatot kapjuk, és ez egy stacionárius, ergodikusságú folyamat. Ezért alkalmazható rá a matematikai analízis egyik alapvető eredménye, az ergod-tétel, mely szerint

$$\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{\log T} \int_0^{\log T} \mathcal{G}(T_s U(\cdot, \omega)) ds = E \mathcal{G}(U(\cdot, \omega))$$

egy valószínűséggel, ahol $T_s U(t, \omega) = U(t+s, \omega)$, az $U(\cdot, \omega)$ trajektória eltolása s -sel, és \mathcal{G} tetszőleges korlátos funkcionál a $[0, \infty)$ félegyenesen értelmezett függvények terén. Ezt az Ornstein–Uhlenbeck folyamatról szóló relációt átírva a $W(t, \omega) = t^{1/2} U(\log t, \omega)$ Wiener-folyamatra, és a $\mathcal{G} = \mathcal{G}(\mathfrak{I})$ funkcionált alkalmasan választva, megkapjuk az a) állítás eredményét.

Felmerül a kérdés: mennyire kötődik a fenti érvelés, illetve annak eredménye a Wiener-folyamatokhoz, illetve a Wiener-folyamat transzformáltjaként kapott Ornstein–Uhlenbeck folyamathoz? Részletesebb vizsgálat megmutatja, hogy ez az érvelés, illetve az a) állítás megfelelőjének a bizonyítása elvégezhető az úgynevezett önazonos (az angol nyelvű irodalomban self-similarnek hívott) folyamatokra is.

Egy $X(t, \omega)$, $t \geq 0$, sztochasztikus folyamat akkor önazonos $\alpha > 0$ paraméterrel, ha az $X(t, \omega)$ és az $s^{-1/\alpha} X(st, \omega)$ folyamatok eloszlása minden $s > 0$ esetén megegyezik. Ezek a folyamatok azért játszanak fontos szerepet a valószínűség-számításban, mert ezek eloszlásai lépnek fel határeloszlás-tételek limeszeként. Megadjuk ennek a ténynek egy informális, vázlatos magyarázatát.

Ha független valószínűségi változók normalizált összegeire érvényes határeloszlás-tételeket vizsgálunk, akkor az ilyen állítások átfogalmazhatók mint ezen független valószínűségi változók eloszlásainak a konvolúcióira, illetve azok átskalázására felírt alkalmas relációk. Egy természetes határátmenetet elvégezve,

azt kapjuk, hogy azok az eloszlások lépnek fel határeloszlásként, melyek teljesítenek egy bizonyos fixpont-egyenletet. Ha nem feltétlenül független valószínűségi változók alkalmasan normalizált összegeinek lehetséges határeloszlásait akarjuk leírni, akkor nem elegendő az egydimenziós eloszlásokat tekinteni, mert azok nem adnak teljes információt. Ekkor az egész folyamat eloszlását kell tekinteni, és azt érdemes vizsgálni, hogy mely folyamatok eloszlásai jelenhetnek meg mint határértékek. Ebben az esetben is adaptálhatjuk a független valószínűségi változók esetében végrehajtott határátmenetet, és azt kapjuk, hogy a határfolyamat eloszlása teljesít bizonyos szimmetriatulajdonságot. Kidolgozva a részleteket, azt kapjuk, hogy a lehetséges határértékek megegyeznek az önhasonló folyamatok eloszlásaival.

Másrészt nem nehéz belátni a következő lemmát.

LEMMA. Egy $X(t, \omega)$ sztochasztikus folyamat akkor és csak akkor önhasonló $\alpha > 0$ paraméterrel, ha az

$$Y(t, \omega) = \frac{X(e^t, \omega)}{e^{t/\alpha}}, \quad t \geq 0$$

sztochasztikus folyamat stacionárius.

Vegyük észre, hogy a Lemmában definiált $Y(t, \omega)$ folyamat definíciója nagyon hasonló az Ornstein–Uhlenbeck folyamatnak a Wiener-folyamat segítségével megadott konstrukciójához. Mivel az ergod-tétel alkalmazható tetszőleges stacionárius folyamatra, ezért az a) állítás érvelése általánosítható önhasonló folyamatokra is. Ilyen módon azt kapjuk, hogy ha $X(\cdot, \omega)$ önhasonló folyamat $\alpha > 0$ paraméterrel, akkor enyhe feltételek mellett azt kell feltenni, hogy az $Y(t, \omega)$ stacionárius folyamat egyben ergodikus is, és az $X(\cdot, \omega)$ folyamat trajektóriái simák

$$\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{\log T} \int_1^T \frac{1}{t} \mathfrak{I}(X_t(\cdot, \omega)) dt = E \mathfrak{I} X_1(\cdot, \omega) \quad \text{egy valószínűséggel,} \quad (+)$$

ahol

$$X_t(u, \omega) = \frac{X(ut, \omega)}{t^{1/\alpha}}, \quad 0 \leq u \leq 1, \quad t > 0,$$

és $\mathfrak{I}([0, 1])$ (vagy a valószínűség-számításban szintén gyakran használt nagyobb $D([0, 1])$ térbeli folytonos korlátos funkcionál. Sőt, ez az állítás némileg élesíthető. Megadható ω elemi eseményeknek olyan egy valószínűségű halmaza, melyekre a (+) reláció teljesül minden folytonos és korlátos \mathfrak{I} funkcionálra. (Ez az állítás

megfogalmazható úgy is, mint egy majdnem biztos funkcionális határeloszlás-tétel.)

Ilyen módon azt a figyelemre méltó eredményt kapjuk, hogy az egy valószínűségű határeloszlás-tételben ugyanazok a folyamatok lépnek fel határfolyamatként, mint a valószínűség-számítás klasszikus határeloszlás-tételeiben.

A b) részben megfogalmazott állítás bizonyításához érdemes belátni a (+) formulában megfogalmazott állítás következő diszkrét változatát:

2. TÉTEL. Legyen B_n pozitív egész számoknak olyan monoton sorozata, melyre

$$\lim_{n \rightarrow \infty} B_n = \infty, \quad \text{és} \quad \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{B_{n+1}}{B_n} = 1.$$

Tegyük fel továbbá, hogy (+) formula bizonyításának a feltételei teljesülnek. Ekkor

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{\log \frac{B_{n+1}}{B_1}} \sum_{k=1}^n \log \frac{B_{k+1}}{B_k} \mathfrak{I}(X_{B_k}(\cdot, \omega)) = E \mathfrak{I}(X_1(\cdot, \omega)) \quad \text{egy valószínűséggel} \quad (++)$$

minden a $C([0,1])$ téren folytonos és korlátos \mathfrak{I} funkcionálra, ahol

$$X_t(s, \omega) = \frac{X(st, \omega)}{t^{1/\alpha}}, \quad t > 0, \quad 0 \leq s \leq 1.$$

Megjegyzés: A (+) állítás bizonyításának háttérében az ergod-tétel áll. Az ergod-tételnek létezik időben diszkrét változata is, és természetes gondolat lenne megpróbálni azt, hogy a (++) relációt az ergod-elmélet diszkrét változatának a segítségével bizonyítsuk be. Ez a módszer azonban nem működik, mert az ergod-tétel diszkrét változatában az időpontokat speciálisan kell megválasztani. A 2. Tétel bizonyításának a kulcsa mégis az ergod-tétel. Az ergod-tétel és az $X(t, \omega)$ trajektóriáinak folytonossága segítségével ugyanis megmutatható, hogy a (+) formulában szereplő integrált jól közelíti a (++) formulában szereplő összeg. Ezért a két kifejezésnek ugyanaz a limesze. Egy részletesebb tárgyalásban el kellene magyarázni pontosabban, hogy milyen értelemben van ez a két kifejezés közel egymáshoz. Ennek kifejtésére azonban egy rövid, bevezető jellegű előadásban nem volt lehetőségem.

A b) részben megfogalmazott állítás azt sugallja, hogy próbáljuk meg a következő állítást belátni. Ha $X(t, \omega)$ α paraméterű önhasonló folyamat, melyre érvényes a 2. Tétel, és $Z(t, \omega)$, $t \geq 0$, olyan sztochasztikus folyamat, melyre a

$$Z_n(t, \omega) = \frac{Z(B_n t, \omega)}{B_n^{1/\alpha}}, \quad 0 \leq t \leq 1,$$

folyamat teljesíti a $Z_n(t, \omega) \Rightarrow X_1(t, \omega)$ relációt $n \rightarrow \infty$ esetén alkalmas B_n , $n = 1, 2, \dots$, sorozattal, ahol \Rightarrow gyenge konvergenciát jelent, akkor érvényes a $(++)$ formula azon módosítása is, melyben az $\mathfrak{I}(X_{B_k}(\cdot, \omega))$ kifejezést az $\mathfrak{I}(Z_k(\cdot, \omega))$ kifejezéssel helyettesítjük.

Ez az állítás közvetlenül nem bizonyítható, mivel a bizonyításban a fent definiált $X(t, \omega)$ és $Z_n(t, \omega)$ folyamatoknak a $Z_n(t, \omega) \Rightarrow X(t, \omega)$ relációtól eltérő közelségét kell alkalmazni. A bizonyítás komolyabb analízist igényel. Sikertelenül belátni, hogy ha független egyforma eloszlású valószínűségi változók normalizált részösszegei teljesítenek valamilyen határeloszlás-tételt, akkor ezek a részletösszegek teljesítik a megfelelő egy valószínűségű határeloszlás-tételt, illetve annak funkcionális változatát is. Ennek a vizsgálatnak a részleteiről nem volt időm beszélni. Természetes azt várni, hogy ennek az eredménynek a megfelelője érvényes függő valószínűségi változók részösszegeire is. Ez az állítás azonban jelenleg még nincs bebizonyítva, és a bizonyítás sok munkát és új gondolatokat igényel.

Végül jegyezzük meg, hogy a fenti eredmények azt is megmagyarázzák, hogy miért természetes az előadás, illetve az itteni ismertetés elején megadott (*) formulában szereplő súlyozott átlagot az ott tekintett súlyozással tekinteni. Ugyanis független, egyforma eloszlású valószínűségi változók részletösszegei hasonlóan viselkednek, mint független, standard normális eloszlású valószínűségi változók részletösszegei. Ezekre viszont alkalmazható a 2. Tétel eredménye $B_n = n$ és $\alpha = 2$ választással. Ez az érvelés (*) formulához hasonló eredményt szolgáltat. Az egyetlen különbség az, hogy jelen esetben a

$$\frac{1}{\log n} \frac{1}{k}$$

súlyok helyett a

$$\frac{1}{\log n} \log \frac{k-1}{k}$$

súlyokat kell választani. De mivel

$$\log \frac{k-1}{k} = \frac{1}{k} + O\left(\frac{1}{k^2}\right),$$

nem nehéz belátni, hogy a két reláció ekvivalens egymással.

Az előadásban csak rövid betekintést tudtam adni az egy valószínűségi határeloszlás-tétel témakörébe. Egy részletesebb tárgyalás és az itt megfogalmazott állítások teljes bizonyítása megtalálható az irodalomban megadott, két részből álló cikkemben.

Irodalom

Major, Péter: Almost Sure Functional Limit Theorems. Part I. The General Case. *Studia Scientiarum Mathematicarum Hungarica*, 1998, 34, 273–304.

Major, Péter: Almost Sure Functional Limit Theorems. Part II. The Case of Independent Random Variables. *Studia Scientiarum Mathematicarum Hungarica*, 2000, 36, 231–273.

Futamokkal kapcsolatos határeloszlás-tételek

Erdős Pál emlékére

1. Logaritmikus periodicitás az aszimptotikus eloszlásban

Egy pénzdarabot dobálva, k hosszúságú *tiszta fejfutamról* beszélünk, ha k egymás utáni dobás eredménye mind fej. Természetesen fölvetődő kérdés, hogy n dobást végezve mekkora az észlelt leghosszabb tiszta fejfutam hossza. Ez a probléma már A. de Moivre figyelmét is felkeltette több mint 250 évvel ezelőtt.

A fejdobást 1-gyel, az írást 0-val jelölve, az érmedobások sorozata matematikailag Bernoulli-kísérletsorozattal, azaz független, azonos eloszlású bináris valószínűségi változókból álló X_1, X_2, \dots sorozattal írható le, ahol $P(X_i = 1) = p$ a fejdobás valószínűsége és $P(X_i = 0) = 1 - p = q$ az írásé.

Jelölje $Z_F(n)$, illetve $Z_I(n)$ az első n dobás során észlelt leghosszabb tiszta fej-, illetve tiszta írásfutam hosszát, vagyis például

$$Z_F(n) = \max\{k : \exists i, k \leq i \leq n, \text{ hogy } X_i = X_{i-1} = \dots = X_{i-k+1} = 1\}.$$

Az n dobásból kapott leghosszabb tiszta fejfutam hossza körülbelül $\text{Log } n$ (most és a továbbiakban is Log az $1/p$ alapú logaritmust jelöli). Pontosabban szólva az eltérés ettől a mennyiségtől sztochasztikusan korlátos. A következő aszimptotikus összefüggés már régóta ismert (Goncsarov, 1944):

$$P(Z_F(n) \leq k) = \exp(-nqp^{k-1}) + o(1). \quad (1.1)$$

A maradéktagról ismeretes, hogy k -ban egyenletesen

$$O\left(\frac{\log n}{n}\right)$$

(Novak, 1992). A $Z_F(n)$ mennyiség 1 valószínűségű aszimptotikus viselkedését illetően lásd Erdős és Révész (1975).

Legyen

$$N = [\text{Log } n], \quad \alpha = 1 - \{\text{Log } n\} \quad \text{és} \quad \rho_k(x) = F(k+x) - F(k+x-1),$$

ahol

$$F(x) = \exp(-qp^x).$$

Ekkor (1.1)-ből

$$\sum_{k=-\infty}^{+\infty} |P(Z_F(n) - N = k) - \rho_k(\alpha)| = O\left(\frac{\log^2 n}{n}\right) \quad (1.2)$$

következik. Látható, hogy nincs határeloszlás, mert valamiféle logaritmikus periodicitáshoz hasonló viselkedés mutatkozik. Határeloszlás csak az olyan részsorozatok mentén kapható, amelyekre $\text{Log } n$ törtrésze konvergál.

Hasonló jelenség tapasztalható a leghosszabb d -szer megszakított tiszta fejfutam hosszával kapcsolatban (Földes, 1979). Legyen

$$Z_F(n, d) = \max\{k : \exists i, k \leq i \leq n, \text{ hogy } X_i + X_{i-1} + \dots + X_{i-k+1} \geq k - d\},$$

továbbá

$$m = \frac{n}{d!} \left(\frac{q}{p} \text{Log } n\right)^d, \quad N = [\text{Log } m], \quad \alpha = 1 - \{\text{Log } m\}.$$

1.1. TÉTEL

$$P(Z_F(n, d) - N = k) = \rho_k(\alpha) + o(1)$$

k -ban egyenletesen.

Megjegyezzük, hogy $Z_F(n, d)$ nagyságrendje $N = \text{Log } n + d \text{ Log Log } n + O(1)$.

Ez a jelenség a következő, általánosabb modellben is tetten érhető (Móri, 1993a).

Legyen $(\mathcal{X}, \mathcal{F})$ mérhető tér és X_1, X_2, \dots független, azonos eloszlású \mathcal{X} -beli értékű valószínűségi változók. Legyen adott minden pozitív egész m -re egy $B_m \in \mathcal{F}^m$ mérhető halmaz, mégpedig úgy, hogy $B_m \subset B_{m-1} \times \mathcal{X}$ teljesüljön. Tekintsük a

$$T_m = \min \{n \geq m : (X_{n-m+1}, \dots, X_n) \in B_m\}$$

várakozási időket, és legyen

$$Z_n = \max \{m : T_m \leq n\}.$$

1.2. TÉTEL. Tegyük fel, hogy $ET_m \sim f(m)$, ahol f pozitív, szigorúan monoton növekvő, differenciálható függvény, és létezik a

$$c = \lim_{t \rightarrow \infty} (\log f(t))', \quad 0 < c < \infty$$

határérték. Legyen

$$N = \lfloor f^{-1}(n) \rfloor, \quad \alpha = 1 - \{f^{-1}(n)\}, \quad F(x) = \exp(-\exp(-cx)),$$

továbbá

$$\rho_k(x) = F(k+x) - F(k+x-1).$$

Ekkor

$$P(Z_n - N = k) = \rho_k(\alpha) + o(1).$$

A feltételekből következik, hogy $N \sim (\log n)/c$, tehát a vizsgált mennyiség növekedési üteme ismét logaritmikus. Megmutatható, hogy $Z_n - N$ sztochasztikusan korlátos, de semmilyen $g(n)$ centráló sorozat mellett nem lesz $Z_n - g(n)$ -nek határeloszlása.

Az eddigiekben szerepelt F eloszlásfüggvények mind a Gumbel-eloszlás családjába tartoznak. Gnedenko klasszikus eredménye szerint ez az eloszláscsalád a független, azonos eloszlású valószínűségi változók maximumának háromféle lehetséges határeloszlása közül az egyik.

A logaritmikus periodicitás jelensége a tiszta fejfutamokkal kapcsolatos más mennyiségeknél is megmutatkozik.

Legyen az érme szimmetrikus, azaz $p = 1/2$. Természetes kérdés, hogy ekkor mekkora a leghosszabb tiszta fej- és írásfutam hosszának különbsége, $\Delta(n) = Z_F(n) - Z_I(n)$.

Tetszőleges érme esetén vizsgálhatjuk a leghosszabb tiszta fejfutam *multiplicitását*, azaz a

$$\mu_F(n) = \left| \left\{ i : Z_F(n) \leq i \leq n, \quad X_i = X_{i-1} = \dots = X_{i-Z_F(n)+1} \right\} \right|$$

mennyiséget.

Végül jelölje $D_F(n)$ a leghosszabb és a második leghosszabb tiszta fejfutam hosszának különbségét. Világos, hogy $D_F(n) = 0 \Leftrightarrow \mu_F(n) > 1$.

Ezeknek a mennyiségeknek a vizsgálatára Erdős és Révész (1987) problémafelvető cikke, illetve Révész (1990) monográfiája is felhívta a figyelmet. Mindhárom esetben az eloszlás aszimptotikájában periodicitás tapasztalható.

1.3. TÉTEL.

(a) Az (1.2) képletben szereplő mennyiségekkel

$$P(\Delta(n) = k) = \sum_{i=-\infty}^{+\infty} \rho_{k+i}(\alpha) \rho_i(\alpha) + o(1), \quad k \in \mathbb{Z}$$

(b)

$$P(\mu_F(n) = k) = \varphi_k(\alpha) + o(1),$$

ahol

$$\varphi_k(x) = \frac{q^k}{k!} \sum_{i=-\infty}^{+\infty} (-\log F(i+x))^k F(i+x), \quad k \geq 1.$$

(c)

$$P(D_F(n) = k) = qp^{k-1} \varphi_1(\alpha) + o(1), \quad k \geq 1.$$

A jelenség hátterét [legalábbis $Z_F(n)$ esetére] jól megvilágítja Gordon, Schilling és Waterman (1986) cikke. Az egymás utáni fejfutamok hosszai független, q paraméterű geometriai eloszlású valószínűségi változók: $P(\text{a futam hossza} = k) = qp^{k-1}$, $k \geq 1$. Tehát $Z_F(n)$ véletlen számú független, azonos eloszlású valószínűségi változó maximuma. A tiszta fejfutamok száma az első n dobásban ugyan nem független a futamok hosszaitól, de nagy n -re aszimptotikusan npq , ezért nem meglepő a Gumbel-eloszlás megjelenése. Kicsit pontosabban: ha m már elég nagy, a legalább m hosszúságú fejfutamra való várakozási idő közelítőleg $f(m) = 1/(qp^m)$ várható értékű exponenciális eloszlású. (Az aszimptotikus exponencialitás az 1.2. Tétel általános modelljében is teljesül: mivel a T_m várakozási idő nagyságrendje és ezzel

együtt várható értéke is m -ben exponenciálisan nő, az emlékezte viszont csak m -mel arányos, T_m/ET_m határeloszlása emlékezet nélküli, standard exponenciális.) Ezért a legalább m hosszúságú fejfutamok helye a dobássorozatban jól approximálható Poisson-folyamattal. Ennek megfelelően a közelítő modell egy (τ_k, ξ_k) címkézett homogén Poisson-folyamattal adható meg, amelynek intenzitása $\lambda = pq$, és ξ_k címkék q paraméterű geometriai eloszlásúak. Az (s, t) intervallumban észlelt leghosszabb tiszta fejfutam (közelítő) hossza

$$\tilde{Z}(s, t) = \max \{ \xi_k : s < \tau_k < t \}$$

erre most pontosan teljesül, hogy

$$P(\tilde{Z}(s, t) < k) = F(k - \text{Log}(t - s)) = F(k)^{t-s}.$$

Legyen $\Theta(t)$, $t > 0$ az F Gumbel-eloszlásnak megfelelő extrémális folyamat: $\Theta(t) = \Theta(0, t)$, ahol

- $\Theta(s, t)$ eloszlásfüggvénye $F(x)^{t-s}$, $s < t$,
- a diszjunkt intervallumokhoz tartozó Θ -k függetlenek,
- $\Theta(s, u) = \Theta(s, t) \vee \Theta(t, u)$, $s < t < u$.

Vagyis $\Psi(t) = \Theta(t) - \text{Log } t$ eloszlásfüggvénye éppen F , $\forall t > 0$.

Ezzel $\tilde{Z}(s, t) = [\Theta(s, t)] \vee 1$, és speciálisan

$$Z_F(n) - N \approx \tilde{Z}(0, n) - [\text{Log } n] = [\Psi(n) + \{\text{Log } n\}]$$

Megjelent tehát a periodikus eltolást követően diszkretizált extrémérték-eloszlás.

2. Aszimptotikusan kvázideterminisztikus mennyiségek

Révész (1984) nyomán valószínűségi változók egy ξ_n , $n \geq 1$ sorozatát *aszimptotikusan kvázideterminisztikusnak* (AKD) mondjuk, ha megadható két numerikus sorozat: $a_n \leq b_n$, amelyre $b_n - a_n$ korlátos, és 1 valószínűséggel minden elég nagy n -re $a_n \leq \xi_n \leq b_n$. Futamokkal kapcsolatban több olyan AKD mennyiség is definiálható, amelyek 1-hez tartó valószínűséggel legfeljebb kettő (sőt, gyakran csak egyetlen) értéket vehetnek fel, de nincs határeloszlásuk. Az 1.2. Tétel általános modelljére Móri (1993a) képleteiből könnyen levezethető az alábbi eredmény.

2.1. TÉTEL. A rövidség kedvéért vezessük be a $g = f^{-1}$ jelölést. Tegyük fel, hogy $c = \lim_{t \rightarrow \infty} (\log f(t))' = +\infty$, azaz $\lim_{t \rightarrow \infty} tg'(t) = 0$, akkor Z_n AKD: tetszőleges $\varepsilon > 0$ esetén

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P([g(n) - \varepsilon] \leq Z_n \leq [g(n) + \varepsilon]) = 1.$$

Ha ezen felül még azt is feltesszük, hogy f kétszer differenciálható és $(\log f(t))'' / (\log f(t))'$ korlátos, akkor tetszőleges olyan $\varepsilon(n)$ pozitív számsorozat mellett, amelyre $\varepsilon(n) \rightarrow 0$ és

$$\frac{\varepsilon(n)}{ng'(n)} \rightarrow \infty, \quad (2.1)$$

teljesül, hogy

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P([g(n) - \varepsilon(n)] \leq Z_n \leq [g(n) + \varepsilon(n)]) = 1.$$

Például ha $\mathcal{X} = \mathbb{R}$, $B_m = \{(x_1, \dots, x_m) : x_1 < x_2 < \dots < x_m\}$, és az X_i valószínűségi változók folytonos eloszlásúak, akkor Z_n a leghosszabb növekvő blokk hossza (Révész, 1983). Itt $f(m) = m! = \Gamma(m+1)$ és $g(n) = \Gamma^{-1}(n) - 1$, vagyis $g(n) \sim \log n / \log \log n$, és (2.1) most úgy írható, hogy $\varepsilon(n) \log \log n \rightarrow \infty$.

A futamokkal kapcsolatos másik AKD változó a fedési idő inverz mennyisége. Tetszőleges $A \in \{0,1\}^m$ fej-írás sorozat esetén legyen

$$T(A) = \min \{n \geq m : (X_{n-m+1}, \dots, X_n) \equiv A\}$$

az A futamra való várakozási idő. Ezek maximumát, a $W_m = \max\{T(A) : A \in \{0,1\}^m\}$ mennyiséget fedési időnek is nevezik; ennyi érmedobás szükséges ahhoz, hogy minden lehetséges m hosszúságú futam legalább egyszer megjelenjék (Móri, 1991, 1995a). Végül legyen $M_n = \max \{m : W_m \leq n\}$. Ez utóbbi mennyiségről a következő mondható:

2.2. TÉTEL (Móri, 1995b).

(a) $p = 1/2$.

Legyen

$$g(n) = \log n - \log \log n + \frac{\log \log n}{\log n} \quad \text{és} \quad \varepsilon(n)$$

olyan pozitív számsorozat, amelyre $\varepsilon(n) \rightarrow 0$, $\varepsilon(n) \log n \rightarrow \infty$. Ekkor

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P([g(n) - \varepsilon(n)] \leq M_n \leq [g(n) + \varepsilon(n)]) = 1.$$

(b) $p < 1/2$.

Legyen

$$k = \left[\frac{q}{q-p} \right], \quad g(n) = \text{Log } n - \text{Log log log } n + \text{Log} \left(\frac{1}{k} \left(\frac{q}{p} \right)^k \right) \quad \text{és} \quad \varepsilon(n)$$

olyan pozitív számsorozat, amelyre $\varepsilon(n) \rightarrow 0$, $\varepsilon(n) \log \log n \rightarrow \infty$. Ekkor

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P([g(n) - \varepsilon(n)] \leq M_n \leq [g(n) + \varepsilon(n)]) = 1.$$

Bár a 2.2. Tétel állításai nagyon hasonlóak a 2.1. Tételéhez, a fedési idő inverz mennyisége nem fér bele a 2.1. Tétel általános modelljébe.

3. Egy valószínűségű határeloszlás-tételek

Legyen η_1, η_2, \dots az (Ω, \mathcal{A}, P) valószínűségi mezőn értelmezett valószínűségi változók eloszlásban konvergens sorozata, azaz minden valós t -re $P(\eta_n < t) \rightarrow F(t)$, ahol F tetszőleges (egydimenziós) eloszlásfüggvény. Kérdés, mely $\omega \in \Omega$ esetén van (aszimptotikus) sűrűsége azon n indexek sorozatának, amelyekre teljesül, hogy $\eta_n(\omega) < t$, vagyis mi a konvergenciahalmaza az

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I(\eta_i < t)$$

átlagok sorozatának?

Ha az η_n -ek függetlenek, a nagy számok erős törvénye értelmében majdnem minden ω -ra létezik aszimptotikus sűrűség, mégpedig $F(t)$. A valószínűség-számítás határeloszlás-tételeiben szereplő véletlen sorozatok azonban rendszerint sokkal hosszabb memóriájúak, ezért az $I(\eta_n < t)$ indikátorok sorozatára a számtani közepeknél sokkal erősebb szummációs eljárást kell alkalmazni. Ilyen eljárás a logaritmikus szummáció, amikor is az

$$\frac{1}{\log n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{i} I(\eta_i < t), \quad n > 1$$

sorozat konvergenciáját vizsgáljuk. Más szóval az $\eta_n(\omega) < t$ feltételnek eleget tevő n indexek sorozatának logaritmikus sűrűségére vagyunk kíváncsiak.

Az ilyen típusú eredmények közül az egyik legrégebbi Erdős és Hunt nevéhez fűződik: (1953) cikkükben η_n független, azonos folytonos és szimmetrikus eloszlású valószínűségi változók átlaga, és $t = 0$. A centrális határeloszlás-tétel 1 valószínűségű változatát 1988-ban bizonyította egymástól függetlenül Brosamler és

Schatte, ezzel kezdetét vette a klasszikus határeloszlás-tételek 1 valószínűségű megfelelőinek szisztematikus vizsgálata [lásd Berkes (1998) összefoglaló cikkét]. Kiderült, hogy a független valószínűségi változók részletösszegeire vonatkozó határeloszlás-tételek 1 valószínűségű megfelelői mind teljesülnek, sőt, olyan esetekben is sikerült a klasszikus határeloszlás-tételek 1 valószínűségű megfelelőit bizonyítani, amelyekben hosszabb távú a függés: például a maximumokkal kapcsolatos tételekre. Az eredmények átvitelét az az észrevétel teszi lehetővé, hogy a

$$\xi_i = I(\eta_i < t) - P(\eta_i < t)$$

különbségekre még lassan lecsengő kovarianciák mellett is gyakran teljesül, hogy

$$\frac{1}{\log n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{i} \xi_i \rightarrow 0 \quad \text{m.m.} \quad (3.1)$$

Pontosabban szólva, a következő eredmény igazolható:

3.1. TÉTEL (Móri, 1993b). *Legyenek ξ_1, ξ_2, \dots olyan valószínűségi változók, amelyekre $E\xi_i = 0$ és $|E\xi_i \xi_j| \leq h(j/i)$, $1 \leq i \leq j$, ahol h monoton fogyó függvény.*

(a) *Tegyük fel, hogy*

$$\int_c^\infty \frac{h(z) \log \log \dots \log z}{z \log z} dz < \infty$$

(a számlálóban tetszőlegesen sokszor iterált logaritmus áll, c pedig kellően nagy konstans). Ekkor (3.1) teljesül.

(b) *Ha a ξ_i valószínűségi változók egyenletesen korlátosak, akkor (3.1) teljesüléséhez elegendő, ha*

$$\int_1^\infty \frac{h(z)}{z \log z} dz < \infty.$$

Amikor a ξ_i -k centrált indikátorok, nyilvánvalóan egyenletesen korlátosak, így a (b) pont alkalmazható. Az, hogy a kovarianciák becslését nem az indexek, hanem az indexek logaritmusainak különbsége függvényében követeljük meg, azért van, mert a logaritmikusan átlagoláshoz ez az adekvát feltétel.

A 3.1. Tétel azt is mutatja, hogy az 1 valószínűségű határeloszlás létezése olyan esetekben is elvárható, amikor hagyományos értelemben nincs határeloszlás például az aszimptotikus eloszlás (logaritmikusan) periodicitása miatt. Berkes, Dehling és Móri (1991) erre közöl három érdekes példát.

Ez a tény adhatja az 1 valószínűségű határeloszlások vizsgálatának a jelentőségét. Mert bár általában nem tekinthető a hagyományos határeloszlás-tételek élesítésének, a logaritmikus átlagolás alkalmas arra, hogy a periodicitást elsimítsa. Valóban, az első két szakaszban vizsgált esetek mindegyikében létezik 1 valószínűségű határeloszlás.

3.2. TÉTEL (Móri, 1993a). Az 1.2. Tétel általános modelljében $c < \infty$ esetén 1 valószínűséggel

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{\log n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{i} I(Z_i - f^{-1}(i) < t) = \int_t^{t+1} \bar{F}(z) dz, \quad t \in \mathbb{R}.$$

Speciális esetként, a leghosszabb (d -szer megszakított) tiszta fejfutam hosszára 1 valószínűséggel

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{\log n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{i} I(Z_F(i, d) - \text{Log } i - d \text{ Log Log } i < t) = \int_t^{t+1} \exp\left(-\frac{q}{d!} \left(\frac{q}{p}\right)^d p^z\right) dz.$$

Az 1.3. Tételben szereplő három mennyiségről a következő mondható:

3.3. TÉTEL.

(a) (Móri, 1994). Legyen $p = 1/2$. A leghosszabb tiszta fej- és írásfutam hosszának különbségére 1 valószínűséggel

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{\log n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{i} I(\Delta(i) = k) = \text{Log} \left(1 + \frac{2^k}{2(1+2^k)^2} \right), \quad k \in \mathbb{Z}.$$

(b) A leghosszabb tiszta fejfutam multiplicitására 1 valószínűséggel

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{\log n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{i} I(\mu_F(i) = k) = \frac{q^k}{k \log(1/p)}, \quad k \geq 1.$$

(c) A leghosszabb és a második leghosszabb tiszta fejfutam hosszának különbségére 1 valószínűséggel

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{\log n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{i} I(D_F(i) = k) = \begin{cases} 1 - \frac{q}{\log(1/p)}, & \text{ha } k = 0, \\ \frac{q^2 p^{k-1}}{\log(1/p)}, & \text{ha } k \geq 1. \end{cases}$$

A 2. szakaszban vizsgált AKD mennyiségek esetén – megfelelő centrálás mellett – az 1 valószínűségű határeloszlás elfajult: a valószínűségi változók logaritmikus értelemben aszimptotikusan determinisztikussá válnak, bár ez hagyományos értelemben semmiféle centrálás mellett nem teljesül. Itt a logaritmikus átlagolás szerepe nem a periodicitás kisimítása, hanem a nagyon ritkán (0 logaritmikus sűrűségű indexsorozat mentén) visszatérő kétértékűség kiszűrése.

3.4. TÉTEL.

(a) Tegyük fel, hogy az 1.2. Tétel általános modelljében $c = \infty$ és $(\log \log f(t))' \leq \beta(t)$, ahol β olyan pozitív függvény, amely monoton fogyó és $\int_0^\infty \beta^2(t) dt < \infty$. Ekkor 1 valószínűséggel

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{\log n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{i} I(Z_i = \lceil f^{-1}(i) \rceil) = 1.$$

Speciális esetként, a leghosszabb növekvő blokk hosszára

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{\log n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{i} I(Z_i = \lceil \Gamma^{-1}(i) \rceil - 1) = 1.$$

Hasonló állítás igaz a fedési idő inverzére:

3.5. TÉTEL.

(a) $p = 1/2$.

Ekkor 1 valószínűséggel

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{\log n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{i} I(M_i = \lceil \text{Log } i - \text{Log } \log i \rceil) = 1.$$

(b) $p = 1/2$.

A 2.2.(b) Tétel jelöléseivel 1 valószínűséggel

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{\log n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{i} I\left(M_i = \left\lceil \text{Log } i - \text{Log } \log \log i + \text{Log} \left(\frac{1}{k} (q/p)^k \right) \right\rceil\right) = 1.$$

Ha a 3.4–3.5. Tételben a centráló sorozatból elhagyjuk az egészérték jelét, akkor az 1 valószínűségű határeloszlás a $(-1, 0)$ intervallumon egyenletes lesz (vö. Móri, 1994), azonban az egyenletes határeloszlás nem magukból a valószínűségi változókból, hanem a centráló sorozat törtrészének fluktuációjából fakad.

Irodalom

- Berkes, I. (1998): Results and Problems Related to the Pointwise Central Limit Theorem. In *Asymptotic Methods in Probability and Statistics. A Volume in Honour of Miklós Csörgő*. North-Holland, Amsterdam, 59–96.
- Berkes, I., Dehling, H., Móri, T. F. (1991): Counterexamples Related to the a.s. Central Limit Theorem. *Studia Sci. Math. Hungar.*, 26, 153–164.
- Erdős, P., Hunt, G. A. (1953): Changes in Signs of Sums of Random Variables. *Pacific J. Math.*, 3, 673–687.
- Erdős, P., Révész, P. (1975): On the Length of the Longest Head Run. In *Topics in Information Theory, Colloquia Mat. Soc. J. Bolyai*, 16, 219–228.
- Erdős, P., Révész, P. (1987): Problems and Results on Random Walks. In *Mathematical Statistics and Probability Theory, Vol. B*, Reidel, Dordrecht, 59–65.
- Földes, A. (1997): The Limit Distribution of the Longest Head-Run. *Period. Math. Hungar.*, 10, 301–310.
- Goncsarov, V. L. (1944): Iz oblasztyi kombinatornogo analiza. In *Izv. Akad. Nauk. SZSZSZR, Szer. Mat.*, 8, 3–48.
- Gordon, L., Schilling, M. F., Waterman, M. S. (1986): An Extreme Value Theory of Long Head Runs. *Probab. Th. Rel. Fields*, 72, 279–287.
- Móri, T. F. (1991): On the Waiting Time Till Each of Some Given Patterns Occurs as a Run. *Probab. Th. Rel. Fields*, 87, 313–323.
- Móri, T. F. (1993a): The a. s. Limit Distribution of the Longest Head Run. *Can. J. Math.*, 45, 1245–1262.
- Móri, T. F. (1993b): On the Strong Law of Large Numbers for Logarithmically Weighted Sums. *Annales Univ. Sci. Budapest*, 36, 35–46.
- Móri, T. F. (1994): On Long Runs of Heads and Tails. *Statist. Probab. Letters*, 19, 85–89.
- Móri, T. F. (1995a): Covering with Blocks in the Non-Symmetric Case. *J. Theor. Probab.*, 8, 139–164.
- Móri, T. F. (1995b): Cover Times for Words in Symmetric and Non-Symmetric Cases: a Comparisons. *J. Math. Sci.*, 76, 2288–2298.
- Novak, S. Yu. (1992): Longest Runs in a Sequence of m -Dependent Random Variables. *Probab. Th. Rel. Fields*, 91, 269–281.
- Révész, P. (1983): Three problems on the Length of Increasing Runs. *Stoch. Proc. Appl.*, 15, 169–179.
- Révész Pál (1984): *Mennyire véletlen a véletlen?* (Akadémiai székfoglaló.) Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Révész, P. (1990): *Random Walk in Random and Non-Random Environments*. World Scientific, Singapore.

Autoregressziós modellekkel kapcsolatos határeloszlás-tételek

1. AR(1) modellek

Tekintsük az

$$\begin{cases} X_k = \alpha X_{k-1} + \varepsilon_k & k = 1, 2, \dots, n \\ X_0 = 0 \end{cases} \quad (1.1)$$

egylépéses autoregressziós modellt, ahol $\alpha \in \mathbb{R}$ ismeretlen paraméter, és az egyszerűség kedvéért feltesszük, hogy $(\varepsilon_k)_{k \geq 1}$ független, azonos eloszlású valószínűségi változók, $E\varepsilon_1 = 0$, $E\varepsilon_1^2 = 1$. Az α paraméter legkisebb négyzetes becslése

$$\hat{\alpha}_n = \frac{\sum_{j=1}^n X_j X_{j-1}}{\sum_{j=1}^n X_{j-1}^2}.$$

Közismert, hogy az aszimptotikusan stacionárius (stabilis) esetben, amikor $|\alpha| < 1$, az $(\hat{\alpha}_n)_{n \geq 1}$ sorozat aszimptotikusan normális (Mann Wald [27]; Anderson [1]):

$$\sqrt{n}(\hat{\alpha}_n - \alpha) \xrightarrow{D} N(0, 1 - \alpha^2).$$

Az instabil esetben („egységgyök-modell”) amikor $\alpha = 1$, az $(\hat{\alpha}_n)_{n \geq 1}$ sorozat nem aszimptotikusan normális, hanem

$$n(\hat{\alpha}_n - 1) \xrightarrow{D} \frac{\int_0^1 W(t) dW(t)}{\int_0^1 W^2(t) dt},$$

ahol $\{W(t) : t \in [0, 1]\}$ standard Wiener-folyamat (White [36]; Anderson [1]).

Az „explozív” esetben, amikor $|\alpha| > 1$, az $(\hat{\alpha}_n)_{n \geq 1}$ sorozat megint nem aszimptotikusan normális. Ha például $\varepsilon_1 \sim N(0,1)$, akkor

$$\alpha^n (\hat{\alpha}_n - \alpha) \xrightarrow{D} \text{Cauchy}(0, \alpha^2 - 1).$$

Általában pedig ez a határeloszlás függ ε_1 eloszlásától (White [36]; Anderson [1]). Más normálással:

$$\left(\sum_{j=1}^n X_{j-1}^2 \right)^{1/2} (\hat{\alpha}_n - \alpha) \xrightarrow{D} \begin{cases} N(0,1) & |\alpha| \neq 1, \\ \frac{\int_0^1 W(t) dW(t)}{\left(\int_0^1 W^2(t) dt \right)^{1/2}} & |\alpha| = 1, \end{cases}$$

amely az $|\alpha| > 1$ esetben akkor érvényes, amikor $\varepsilon_1 \sim N(0,1)$.

A következő modellt közel instabilnak („közel egységgyök-modell”, „közel nemstacionárius modell”) nevezzük:

$$\begin{cases} X_k^{(n)} = \alpha^{(n)} X_{k-1}^{(n)} + \varepsilon_k^{(n)}, & k = 1, 2, \dots, n, \\ X_0^{(n)} = 0 \end{cases} \quad (1.2)$$

ahol

$$\alpha^{(n)} = 1 + \frac{\gamma^{(n)}}{n}, \quad \gamma^{(n)} \rightarrow \gamma.$$

Ekkor az $\alpha^{(n)}$ paraméterek legkisebb négyzetes becsléseiből álló $(\hat{\alpha}_n^{(n)})_{n \geq 1}$ sorozatra teljesül

$$n(\hat{\alpha}_n^{(n)} - \alpha^{(n)}) \xrightarrow{D} \frac{\int_0^1 Y(t) dW(t)}{\int_0^1 Y^2(t) dt}, \quad (1.3)$$

ahol $\{Y(t) : t \in [0,1]\}$ egy folytonos idejű AR(1) folyamat, azaz egy Ornstein–Uhlenbeck folyamat, melyet a következő sztochasztikus differenciálegyenlettel lehet definiálni:

$$\begin{cases} dY(t) = \gamma Y(t) dt + dW(t), & t \in [0,1] \\ Y(0) = 0 \end{cases} \quad (1.4)$$

(Bobkovski [14]; Phillips [29]; Chan and Wei [16].) Az $\{Y(t) : t \in [0,1]\}$ folyamat írható

$$Y(t) = \int_0^t e^{\gamma(t-v)} dW(v)$$

alakban is. Arató, Kolmogorov, Sinai [5], valamint Arató [2], [4] felhívta a figyelmet a diszkrét és folytonos idejű autoregressziós folyamatok közötti kapcsolatra. Az (1.3) eredmény a következő módon is megfogalmazható:

$$\hat{\gamma}_n^{(n)} \xrightarrow{D} \hat{\gamma},$$

ahol $\hat{\gamma}_n^{(n)}$ a $\gamma^{(n)}$ paraméter legkisebb négyzetes becslése az (1.2) diszkrét idejű modellben, $\hat{\gamma}$ paraméter maximum likelihood becslése az (1.4) folytonos idejű modellben (Arató [3]):

$$\hat{\gamma} = \frac{\int_0^1 Y(t) dY(t)}{\int_0^1 Y^2(t) dt},$$

hiszen az $\{Y(t) : t \in [0,1]\}$ és $\{W(t) : t \in [0,1]\}$ folyamatok által a $C([0,1])$ téren indukált P_Y , illetve P_W mértékek ekvivalensek, és a Radon–Nikodym derivált alakja:

$$\frac{dP_Y}{dP_W}(Y) = \exp \left\{ \gamma \int_0^1 Y(t) dY(t) - \frac{\gamma^2}{2} \int_0^1 Y^2(t) dt \right\},$$

továbbá $\hat{\gamma}_n^{(n)} = n(\hat{\alpha}_n^{(n)} - 1)$, és az Itô-formulával

$$\hat{\gamma} = \frac{\int_0^1 Y(t) dW(t)}{\int_0^1 Y^2(t) dt} + \gamma.$$

A közel instabil esetben fellépő különleges határeloszlást heurisztikusan az magyarázza, hogy

$$n(\hat{\alpha}_n - \alpha_n) = n \frac{\sum_{j=1}^n X_{j-1}^{(n)} \varepsilon_j^{(n)}}{\sum_{j=1}^n (X_{j-1}^{(n)})^2} = \frac{\int_0^1 Y_n(t) dM_n(t)}{\int_0^1 Y_n^2(t) dt},$$

ahol

$$M_n(t) := \frac{1}{\sqrt{n}} \sum_{j=1}^{[nt]}, \quad Y_n(t) := \frac{1}{\sqrt{n}} X_{[nt]}^{(n)},$$

és a funkcionális centrális határeloszlás-tétel értelmében $M_n \xrightarrow{D} W$, valamint teljesül $Y_n \xrightarrow{D} Y$, hiszen

$$X_j^{(n)} = \sum_{\ell=1}^j \alpha_n^{j-\ell} \varepsilon_\ell^{(n)},$$

továbbá az együtthatót írhatjuk

$$\alpha_n = e^{\tilde{\gamma}_n/n}$$

alakban is, ahol $\tilde{\gamma}_n \rightarrow \gamma$, ezért

$$Y_n(t) = \frac{1}{\sqrt{n}} \sum_{\ell=1}^{[nt]} e^{\tilde{\gamma}_n([nt]-\ell)/n} \varepsilon_\ell^{(n)} = \int_0^{[nt]/n} e^{\tilde{\gamma}_n\left(\frac{[nt]}{n}-s\right)} dM_s(s) \xrightarrow{D} \int_0^t e^{\gamma(t-s)} dW(s) = Y(t)$$

Az $|\alpha| < 1$ esetben ez a jelenség azért nem lép fel, mert ekkor

$$\sqrt{n}(\hat{\alpha} - \alpha) = \frac{\frac{1}{\sqrt{n}} \sum_{j=1}^n X_{j-1} \varepsilon_j}{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n X_{j-1}^2} \xrightarrow{D} N\left(0, \frac{1}{1-\alpha^2}\right),$$

hiszen a gyengén függő valószínűségi változókra vonatkozó centrális határeloszlás-tétellel

$$\frac{1}{\sqrt{n}} \sum_{j=1}^n X_{j-1} \varepsilon_j \xrightarrow{D} N\left(0, \frac{1}{1-\alpha^2}\right),$$

a nagy számok erős törvényével pedig

$$\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n X_{j-1}^2 \rightarrow \frac{1}{1-\alpha^2} \quad \text{P - m. m.}$$

2. AR(p) modellek

Hasonló eredmények érvényesek az

$$\begin{cases} X_k = \alpha_1 X_{k-1} + \dots + \alpha_p X_{k-p} + \varepsilon_k, & k = 1, 2, \dots, n \\ X_0 = X_{-1} = \dots = X_{1-p} = 0, \end{cases} \quad (2.1)$$

AR(p) modellre is. Az aszimptotikusan stacionárius (stabilis) esetben, amikor a

$$\varphi(z) = 1 - \alpha_1 z - \dots - \alpha_p z^p$$

karakterisztikus polinom összes zérushelye az egységkörön kívül van, az együtt-hatók legkisebb négyzetes becslése aszimptotikusan normális (Mann, Wald [27]; Anderson [1]). Az instabil esetben („egységgyök-modell”), amikor a φ karakterisztikus polinom összes zérushelye az egységkörön kívül van, Chan, Wei [17] bebizonyította, hogy az $\alpha = (\alpha_1, \dots, \alpha_p)^T$ együtt-hatók $\hat{\alpha}_n = (\hat{\alpha}_{1,n}, \dots, \hat{\alpha}_{p,n})^T$ legkisebb négyzetes becslése nem aszimptotikusan normális, viszont alkalmas $\{\delta_n\}$ normalizáló mátrixokkal a $\delta_n^{-1}(\hat{\alpha}_n - \alpha)$ sorozatnak van határeloszlása, melyre adtak egy reprezentációt többszörös Wiener-integrálok segítségével.

Jeganathan [21] vizsgálta a következő instabil („közel egységgyök”, „közel nemstacionárius”) AR(p) modellt:

$$\begin{cases} X_k^{(n)} = \alpha_1^{(n)} X_{k-1}^{(n)} + \dots + \alpha_p^{(n)} X_{k-p}^{(n)} + \varepsilon_k^{(n)}, & k = 1, 2, \dots, n \\ X_0^{(n)} = X_{-1}^{(n)} = \dots = X_{1-p}^{(n)} = 0, \end{cases} \quad (2.2)$$

ahol az $\alpha^{(n)} = \alpha_1^{(n)}, \dots, \alpha_p^{(n)}^T$ együtt-hatókra teljesül $\alpha^{(n)} = \alpha + \delta_n \gamma_n$, ahol $\gamma_n \rightarrow \gamma$ és $\{\delta_n\}$ a Chan, Wei [17] által használt normalizáló mátrixok. Jegyanathan [21] bebizonyította, hogy a $\delta_n^{-1}(\hat{\alpha}_n^{(n)} - \alpha^{(n)})$ sorozatnak van határeloszlása, melyre adott egy igen bonyolult reprezentációt. Van der Meer, Pap, Van Zuijlen [28] adtak egy jóval egyszerűbb reprezentációt, és egyúttal megmutatták, hogy létezik egy olyan folytonos idejű AR(p) modell, mely hasonló kapcsolatban van a diszkrét idejű modellel, mint amely az AR(1) esetben érvényes. Tulajdonképpen könnyebb kezelni a karakterisztikus polinomok zérushelyeinek legkisebb négyzetes becslését, mint az együtt-hatókét. A karakterisztikus polinomok zérushelyei egységgyökökhöz konvergálnak a következő módon:

$$\varphi_n(z) = 1 - \alpha_1^{(n)} z - \dots - \alpha_p^{(n)} z^p = \prod_{j=1}^q \prod_{k=1}^{r_j} \left(1 - e^{\gamma_{j,k}^{(n)} / (n + i\theta_j)} z \right) \rightarrow \prod_{j=1}^q \left(1 - e^{i\theta_j} z \right)^{r_j},$$

ahol $\theta_1, \dots, \theta_q \in (-\pi, \pi]$ páronként különbözőek, és $\gamma_{j,k}^{(n)} \rightarrow \gamma_{j,k}$. Ekkor a $\gamma_{j,k}^{(n)}$ paraméterek $(\hat{\gamma}_{j,k,n}^{(n)})_{n \geq 1}$ legkisebb négyzetes becsléseire teljesül

$$\hat{\gamma}_{j,k,n}^{(n)} \xrightarrow{D} \hat{\gamma}_{j,k},$$

ahol $\{\hat{\gamma}_{j,k}\}$ maximum likelihood becslések a következő folytonos idejű AR(p) modellben:

$$\begin{cases} \prod_{k=1}^r (d - \gamma_{j,k}) Y(t) = dW_j(t), & t \in [0, 1], \quad j = 1, \dots, q \\ Y_j(0) = \dots = Y_j^{(r-1)}(0) = 0, & j = 1, \dots, q, \end{cases}$$

ahol $\{W_j(t) : t \in [0, 1]\}$, $j = 1, \dots, q$ független, standard Wiener-folyamatok, melyek valószínű értékek, amikor $\vartheta_j = 0$ vagy $\vartheta_j = \pi$, egyébként komplex értékek.

Hasonló kapcsolat érvényes bizonyos diszkrét és folytonos idejű vektorértékű autoregressziós modellek között is (Kormos, Pap [23]; Pap, Zuijlen [30]; Varga [35]).

3. Duplán geometrikus síkbeli autoregressziós modell

Most tekintsük az úgynevezett duplán geometrikus síkbeli autoregressziós modellt:

$$\begin{cases} X_{k,\ell} = \alpha_1 X_{k-1,\ell} + \alpha_2 X_{k,\ell-1} - \alpha_1 \alpha_2 X_{k-1,\ell-1} + \varepsilon_{k,\ell}, & k, \ell = 1, 2, \dots, n, \\ X_{0,\ell} = X_{k,0} = 0, \end{cases} \quad (3.1)$$

melyet Martin [25] vezetett be. Ezt a modellt Jain [20] képfeldolgozás tanulmányozásánál, Martin [26], Cullis, Gleeson [18], Basu, Reinsel [10] mezőgazdasági kísérleteknél, Tjostheim [33] pedig digitális szűrésnél használta.

Az aszimptotikusan stacionárius esetben, amikor $|\alpha_1| < 1$ és $|\alpha_2| < 1$, az $\alpha = (\alpha_1, \alpha_2)$ paraméter különböző becsléseiről megmutatták, hogy aszimptotikusan normálisak (például Tjostheim [32], [34]; Basu [7]; Khalil [22]; Basu, Reinsel [8], [9]).

Az egységgyök-modellben, amikor $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$, az AR(1) esettel ellentétben az $\alpha = (\alpha_1, \alpha_2)$ paraméter egylépéses Gauss–Newton becsléseinek sorozata szintén aszimptotikusan normális (Bhattacharyya, Khalil, Richardson [11]). A legegyszerűbb egylépéses Gauss–Newton becslés:

$$\begin{pmatrix} \hat{\alpha}_{1,n} \\ \hat{\alpha}_{2,n} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix} + A_n^{-1} \sum_{k=1}^n \sum_{\ell=1}^n \begin{pmatrix} \Delta_2 X_{k-1,\ell} \Delta_1 \Delta_2 X_{k,\ell} \\ \Delta_1 X_{k,\ell-1} \Delta_1 \Delta_2 X_{k,\ell} \end{pmatrix},$$

ahol

$$\Delta_1 x_{k,\ell} = x_{k,\ell} - x_{k-1,\ell}, \quad \Delta_2 x_{k,\ell} = x_{k,\ell} - x_{k,\ell-1}$$

és

$$A_n = \sum_{k=1}^n \sum_{\ell=1}^n \begin{pmatrix} (\Delta_2 X_{k-1,\ell})^2 & \Delta_2 X_{k-1,\ell} \Delta_1 X_{k,\ell-1} \\ \Delta_2 X_{k-1,\ell} \Delta_1 X_{k,\ell-1} & (\Delta_1 X_{k-1,\ell})^2 \end{pmatrix}.$$

Ebben az esetben Bhattacharyya, Khalil, Richardson [11] eredményeiből következik, hogy

$$n^{3/2} \begin{pmatrix} \hat{\alpha}_{1,n} - 1 \\ \hat{\alpha}_{2,n} - 1 \end{pmatrix} \xrightarrow{D} N(0, 2I).$$

Érdemes megjegyezni, hogy az AR(1) egységgyök-modellben az α paraméter $\hat{\alpha}_n$ legkisebb négyzetes becslése is egylépéses Gauss–Newton becslés, hiszen

$$\hat{\alpha}_n = 1 + \frac{\sum_{k=1}^n X_{k-1} \Delta X_k}{\sum_{k=1}^n X_k^2}.$$

Bhattacharyya, Richardson, Franklin [12] vizsgálták a

$$\begin{cases} X_{k,\ell}^{(n)} = \alpha_1^{(n)} X_{k-1,\ell}^{(n)} + \alpha_2^{(n)} X_{k,\ell-1}^{(n)} - \alpha_1^{(n)} \alpha_2^{(n)} X_{k-1,\ell-1}^{(n)} + \varepsilon_{k,\ell}^{(n)}, & k, \ell = 1, 2, \dots, n \\ X_{0,\ell}^{(n)} = X_{k,0}^{(n)} = 0 \end{cases} \quad (3.2)$$

közel egységgyök-modellt, ahol

$$\alpha_j^{(n)} = 1 + \frac{\gamma_j^{(n)}}{n}, \quad \gamma_j^{(n)} \rightarrow \gamma_j, \quad j = 1, 2,$$

és bebizonyították az $\alpha^{(n)} = (\alpha_1^{(n)}, \alpha_2^{(n)})$ paraméter Gauss–Newton becsléseinek aszimptotikusan normalitását. Ebben az esetben az egylépéses Gauss–Newton becslések alakja

$$\begin{pmatrix} \hat{\alpha}_{1,n}^{(n)} \\ \hat{\alpha}_{2,n}^{(n)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \tilde{\alpha}_{1,n}^{(n)} \\ \tilde{\alpha}_{2,n}^{(n)} \end{pmatrix} + A_n^{-1} \sum_{k=1}^n \sum_{\ell=1}^n \begin{pmatrix} \tilde{\Delta}_2 X_{k-1,\ell}^{(n)} \bar{\Delta}_{1,2} X_{k,\ell}^{(n)} \\ \tilde{\Delta}_1 X_{k,\ell-1}^{(n)} \bar{\Delta}_{1,2} X_{k,\ell}^{(n)} \end{pmatrix},$$

ahol $\tilde{\Delta}_1$, $\tilde{\Delta}_2$ és $\bar{\Delta}_{1,2}$ módosított differenciák:

$$\tilde{\Delta}_1 x_{k,\ell} = x_{k,\ell} - \tilde{\alpha}_{1,n}^{(n)} x_{k-1,\ell},$$

$$\tilde{\Delta}_2 x_{k,\ell} = x_{k,\ell} - \tilde{\alpha}_{2,n}^{(n)} x_{k,\ell-1},$$

$$\bar{\Delta}_{1,2} x_{k,\ell} = \tilde{\Delta}_1 \tilde{\Delta}_2 x_{k,\ell} + (\tilde{\alpha}_{1,n}^{(n)} - \alpha_1^{(n)}) \tilde{\Delta}_2 x_{k-1,\ell} + (\tilde{\alpha}_{2,n}^{(n)} - \alpha_2^{(n)}) \tilde{\Delta}_1 x_{k,\ell-1}.$$

Bhattacharyya, Richardson, Franklin [12] eredményéből következik, hogy ha a $\tilde{\alpha}_{j,n}^{(n)}$ kiinduló becslésekre teljesül $\tilde{\alpha}_{j,n}^{(n)} = \alpha_j^{(n)} = O_p(n^{-3/2})$, akkor

$$n^{3/2} \begin{pmatrix} \hat{\alpha}_{1,n}^{(n)} - \alpha_1^{(n)} \\ \hat{\alpha}_{2,n}^{(n)} - \alpha_2^{(n)} \end{pmatrix} \xrightarrow{D} N(0, \text{diag}(d_{1,1}, d_{2,2})),$$

ahol

$$d_{j,j} = \begin{cases} \frac{4\gamma_j^2}{e^{2\gamma_j} - 1 - 2\gamma_j} & \text{ha } \gamma_j \neq 0, \\ 2 & \text{ha } \gamma_j = 0. \end{cases}$$

Ennek a cikknek az az egyik célja, hogy megvilágítsa a (3.2) diszkrét idejű közel egységgyök duplán geometrikus síkbeli modell és az

$$Y(s, t) = \int_0^s \int_0^t e^{\gamma_1(s-u) + \gamma_2(t-v)} dW(u, v), \quad s, t \in [0, 1] \quad (3.3)$$

folytonos idejű Ornstein–Uhlenbeck véletlen mező kapcsolatát, ahol $\{W(s, t) : s, t \in [0, 1]\}$ standard Wiener-lepedő. Kiderül, hogy a (3.3) Ornstein–Uhlenbeck lepedő megint tekinthető a (3.2) duplán geometrikus modell folytonos idejű párjának, de ez a kapcsolat nem érvényes a becslésekre vonatkozólag. Valójában a (3.3) modellben a $\gamma = (\gamma_1, \gamma_2)$ paraméternek nincs maximum likelihood becslése, mert a következő paraméterű Ornstein–Uhlenbeck lepedők által generált mértékek ortogonálisak egymásra. Ez a jelenség azzal függ össze, hogy a $\gamma = (\gamma_1, \gamma_2)$ paramétert erősen konzisztens módon lehet becsülni. (Ying [38] a stacionárius esetben adott erősen konzisztens becsléseket.)

4. Duplán geometrikus síkbeli autoregressziós modell konvergenciája Ornstein–Uhlenbeck lepedőhöz

Tekintsük a (3.2) diszkrét idejű, duplán geometrikus, közel egységgyök-modellt. Ekkor a

$$Y^{(n)}(s, t) := \frac{1}{n} X_{[ns][nt]}^{(n)}, \quad s, t \in [0, 1],$$

$$M^{(n)}(s, t) := \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{[ns]} \sum_{j=1}^{[nt]} \varepsilon_{i,j}^{(n)} \quad s, t \in [0, 1]$$

véletlen lépcsős függvények tekinthetők véletlen elemeknek a $D([0, 1]^2 \rightarrow \mathbb{R})$ Szko-rohod-térben. A következő eredmény (Arató, Pap, Zuijlen [6]) leírja az aszimpto-tikus kapcsolatot a modellhez hozzárendelt $(Y^{(n)})_{n \geq 1}$ sorozat és a „zajhoz” hozzá-rendelt $(M^{(n)})_{n \geq 1}$ sorozat között.

4.1 ÁLLÍTÁS. *A következő állítások ekvivalensek:*

- (i) $M^{(n)} \xrightarrow{D} W$ a $D([0, 1]^2 \rightarrow \mathbb{R})$ térben,
- (ii) $Y^{(n)} \xrightarrow{D} Y$ a $D([0, 1]^2 \rightarrow \mathbb{R})$ térben,
- (iii) $(M^{(n)}, Y^{(n)}) \xrightarrow{D} (W, Y)$ a $D([0, 1]^2 \rightarrow \mathbb{R}^2)$ térben.

A $D([0, 1]^2 \rightarrow \mathbb{R})$ térben alkalmazva a funkcionális centrális határelszlász-tételt (Bickel, Wichura [15, Theorem 5]), kapjuk az alábbi következményt.

4.2 KÖVETKEZMÉNY. *Tegyük fel, hogy $\{\varepsilon_{k,l}^{(n)}\}$ független, azonos eloszlású, 0 várható értékű és 1 szórású valószínűségi változók. Ekkor*

$$(M^{(n)}, Y^{(n)}) \xrightarrow{D} (W, Y) \text{ a } D([0, 1]^2 \rightarrow \mathbb{R}^2) \text{ térben.}$$

A 4.2 Következményt közvetlenül is be lehet látni az

$$Y^{(n)}(s, t) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{[ns]} \sum_{j=1}^{[nt]} e^{\tilde{\gamma}_1^{(n)}([ns]-i)/n + \tilde{\gamma}_2^{(n)}([nt]-j)/n} \varepsilon_{i,j}^{(j)}$$

összegfüggés felhasználásával, mégpedig egyrészt a centrális határelszlász-tétel segítségével megmutatható a végesdimenziós eloszlások konvergenciája, más-részt Bhattacharyya, Richardson, Franklin [12] technikájával bizonyítható a fe-szesség.

5. Ornstein–Uhlenbeck lepedők ortogonalitása

Legyen $\gamma \in \mathbb{R}$ és $\sigma > 0$ esetén

$$Y_{\gamma, \sigma^2}(t) = \sigma \int_0^t e^{\gamma(t-v)} dW(v), \quad t \in [0, 1].$$

Az $\{Y_{\gamma, \sigma^2}(t) : t \in [0, 1]\}$ folyamat egy Ornstein–Uhlenbeck folyamat (γ, σ^2) paraméterekkel, mely a következő sztochasztikus differenciálegyenlet megoldása:

$$\begin{cases} dY(t) = \gamma Y(t) dt + \sigma dW(t), & t \in [0, 1], \\ Y(0) = 0. \end{cases} \quad (5.1)$$

Jelölje $P_{Y_{\gamma, \sigma^2}}$ az Y_{γ, σ^2} folyamat által a $C([0, 1] \rightarrow \mathbb{R})$ téren indukált valószínűségi mértéket. Valamely P_1 és P_2 valószínűségi mértékek ekvivalenciáját, illetve ortogonalitását \sim , illetve \perp fogja jelölni. A következő dichotómia jól ismert (lásd Arató [3]):

$$\begin{cases} P_{Y_{\gamma, \sigma^2}} \sim P_{Y_{\tilde{\gamma}, \tilde{\sigma}^2}} & \text{ha } \sigma^2 = \tilde{\sigma}^2, \\ P_{Y_{\gamma, \sigma^2}} \perp P_{Y_{\tilde{\gamma}, \tilde{\sigma}^2}} & \text{ha } \sigma^2 \neq \tilde{\sigma}^2. \end{cases}$$

Az ortogonalitás $\sigma^2 \neq \tilde{\sigma}^2$ esetén azon alapul, hogy

$$\sum_{j=1}^n \left(Y_{\gamma, \sigma^2} \left(\frac{j}{n} \right) - Y_{\gamma, \sigma^2} \left(\frac{j-1}{n} \right) \right)^2 \rightarrow \sigma^2 \quad P_{Y_{\gamma, \sigma^2}} - \text{m.m.}, \quad (5.2)$$

amely a következő reprezentáció segítségével bizonyítható (mely 5.1 következménye):

$$Y_{\gamma, \sigma^2}(t) = \gamma \int_0^t Y_{\gamma, \sigma^2}(v) dv + \sigma W(t),$$

felhasználva a következő 1 valószínűségi konvergenciákat:

$$\sum_{j=1}^n \left(W \left(\frac{j}{n} \right) - W \left(\frac{j-1}{n} \right) \right)^2 \rightarrow 1, \quad \sum_{j=1}^n \left(\int_{(j-1)/n}^{j/n} Y_{\gamma, \sigma^2}(v) dv \right)^2 \rightarrow 0,$$

ahol a második konvergencia abból következik, hogy az Y_{γ, σ^2} folyamat 1 valószínűséggel folytonos. Más szavakkal: a σ^2 paramétert erősen konzisztens módon lehet becsülni (Ying [37] a stacionárius esetben adott erősen konzisztens becsléseket).

Most tekintsük a $(\gamma_1, \gamma_2, \sigma^2)$ paraméterű Ornstein–Uhlenbeck lepedőt, mely a következő módon van definiálva:

$$Y_{\gamma_1, \gamma_2, \sigma^2}(s, t) = \sigma \int_0^s \int_0^t e^{\gamma_1(s-u) + \gamma_2(t-v)} dW(u, v), \quad s, t \in [0, 1]^2,$$

ahol $\gamma_1, \gamma_2 \in \mathbb{R}$, $\sigma > 0$. Jelölje $P_{Y_{\gamma_1, \gamma_2, \sigma^2}}$ az $Y_{\gamma_1, \gamma_2, \sigma^2}$

folymat által a $C([0, 1]^2 \rightarrow \mathbb{R})$ téren indukált valószínűségi mértéket. A következő dichotómia érvényes (lásd Kurchenko [24]; Arató, Pap, Zuijlen [6]):

5.3 ÁLLÍTÁS

$$\begin{cases} P_{Y_{\gamma_1, \gamma_2, \sigma^2}} \sim P_{Y_{\tilde{\gamma}_1, \tilde{\gamma}_2, \tilde{\sigma}^2}} & \text{ha } (\gamma_1, \gamma_2, \sigma^2) = (\tilde{\gamma}_1, \tilde{\gamma}_2, \tilde{\sigma}^2), \\ P_{Y_{\gamma_1, \gamma_2, \sigma^2}} \perp P_{Y_{\tilde{\gamma}_1, \tilde{\gamma}_2, \tilde{\sigma}^2}} & \text{ha } (\gamma_1, \gamma_2, \sigma^2) \neq (\tilde{\gamma}_1, \tilde{\gamma}_2, \tilde{\sigma}^2). \end{cases}$$

Irodalom

1. Anderson, T. W. (1959): On Asymptotic Distributions of Estimates of Parameters of Stochastic Difference Equations. *Ann. Math. Statist.*, 30, 676–687.
2. Arató, M.: Estimation of the Parameters of a Stationary Gaussian Markov Process. *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, 145, 13–16.
3. Arató, M.: *Linear Stochastic Systems with Constant Coefficients. A Statistical Approach*. (Lecture Notes in Control and Inf., vol. 45, 309 pp.) Berlin, Springer-Verlag, 1982 (in Russian, Moscow, Nauka, 1989).
4. Arató, M. (1989): Asymptotic Inference for Discrete Vector AR processes. *Publ. Math.*, 36, 9–13.
5. Arató, M., Kolmogorov, A. N. and Sinay, Ya. G. (1962): Estimation of the Parameters of a Complex Stationary Gaussian Markov Process. *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, 146, 747–750.
6. Arató, M., Pap, G. and Zuijlen, M.v. (2001): *Asymptotic Inference for Spatial Autoregression and Orthogonality of Ornstein–Uhlenbeck Sheets*. *Computers Math. Appl.*, 42, 219–229.
7. Basu, S. (1990): *Analysis of First-order Spatial Bilateral ARMA Models*. Ph. D. dissertation, Univ. Wisconsin, Madison.
8. Basu, S. and Reinsel, G. C. (1992): A Note on Properties of Spatial Yule–Walker Estimators. *J. Statist. Comput. Simulation*, 41, 243–255.
9. Basu, S. and Reinsel, G. C. (1993): Properties of the Spatial Unilateral First-order ARMA Model. *Adv. in Appl. Probab.*, 25, 631–648.
10. Basu, S. and Reinsel, G. C. (1994): Regression Models with Spatially Correlated Errors. *J. Amer. Statist. Assoc.*, 89, 88–99.
11. Bhattacharyya, B. B., Khalil, T. M. and Richardson, G. D. (1996): Gauss–Newton Estimation of Parameters for a Spatial Autoregression Model. *Statist. Probab. Lett.*, 28, 173–179.
12. Bhattacharyya, B. B., Richardson, G. D. and Franklin, L. A. (1997): Asymptotic Inference for Near Unit Roots in Spatial Autoregression. *Ann. Statist.*, 25, 1709–1724.
13. Billingsley, P. (1968): *Convergence of Probability Measures*. John Wiley & Sons, New York.
14. Bobkoski, M. J. (1983): *Hypothesis Testing in Nonstationary Time Series*. Ph. D. dissertation, Univ. Wisconsin, Madison.
15. Bickel, P. J. and Wichura, M. J. (1971) Convergence Criteria for Multiparameter Stochastic Processes and some Applications. *Ann. Math. Statist.*, 42, 1656–1670.
16. Chan, N. H. and Wei, C. Z. (1987): Asymptotic Inference for Nearly Nonstationary AR(1) Processes. *Ann. Statist.*, 15, 1050–1063.

17. Chan, N. H. and Wei, C. Z. (1988): Limiting Distributions of Least Squares Estimates if Unstable Autoregressive Processes. *Ann. Statist.*, 16, 367–401.
18. Cullis, B. R. and Gleeson, A. C. (1991): Spatial Analysis of Field Experiments – an Extension to Two Dimensions. *Biometrics*, 47, 1449–1460.
19. Deo, C. M. and Wong, S. F. (1978): On Quadratic Variation of Gaussian Random Fields. *Teor. Veroyatn. Primen.*, 23, 655–660.
20. Jain, A. K. (1981): Advances in Mathematical Models for Image Processing. *Proc. IEEE*, 69, 502–528.
21. Jeganathan, P. (1991): On the Asymptotic Behaviour of Least-Squares Estimators in AR Time Series with Roots near the Unit Circle. *Econometric Theory*, 7, 269–306.
22. Khalil, T. M. (1991): *A Study of the Doubly Geometric Process, Stationary Cases and a Nonstationary Case*. Ph. D. dissertation, North Carolina State Univ., Raleigh.
23. Kormos, J. and Pap, G. (1997): Nearly Unstable Multidimensional AR(1) processes. *Computers Math. Appl.*, 34, 1–7.
24. Kurchenko, A. A. (1983): Some Conditions for the Orthogonality of Measures Corresponding to Homogeneous Random Fields. *Theory Probab. Math. Stat.*, 26, 103–109.
25. Martin, R. J. (1979): A Subclass of Lattice Processes Applied to a Problem in Planar Sampling. *Biometrika*, 66, 209–217.
26. Martin, R. J. (1990): The Use of Time-Series Models and Methods in the Analysis of Agricultural Field Trials. *Comm. Statist. Theory Methods*, 19, 55–81.
27. Mann, H. B. and Wald, A. (1943): On the Statistical Treatment of Linear Stochastic Difference Equations. *Econometrica*, 11, 173–220.
28. Meer, T. v. d., Pap, G. and Zuijlen, M. v. (1999): Asymptotic Inference for Nearly Unstable AR(p) processes. *Econometric Theory*, 15, 184–217.
29. Phillips, P. C. B. (1987): Towards a Unified Asymptotic Theory for Autoregression. *Biometrika*, 74, 535–547.
30. Pap, G. and Zuijlen, M. v. (1996): Asymptotic Inference for Nearly Unstable Multidimensional AR Processes. *Theory Probab. Appl.*, 41, 703–710.
31. Pap, G. and Zuijlen, M. v. (1999): Asymptotic Properties of Nearly Unstable Multivariate AR processes. *Computers Math. Appl.*, 37, 11–19.
32. Tjøstheim, D. (1978): Statistical Spatial Series Modelling. *Adv. in Appl. Probab.*, 10, 130–154.
33. Tjøstheim, D. (1981): Autoregressive Modelling and Spectral Analysis of Array Data in the Plane. *IEEE Trans. on Geosciences and Remote Sensing*, 19, 15–24.
34. Tjøstheim, D. (1983): Statistical Spatial Series Modelling II: Some Further Results on Unilateral Processes. *Adv. in Appl. Probab.*, 15, 562–584.
35. Varga, K. (1998): Nearly Unstable AR Models with Coefficient Matrices in Jordan Normal Form. *Computers Math. Appl.*, 36, 1–10.
36. White, J. S. (1958): The Limiting Distribution of the Serial Correlation Coefficient in the Explosive Case. *Ann. Math. Statist.*, 29, 1188–1197.
37. Ying, Z. (1991): Asymptotic Properties of a Maximum Likelihood Estimator with Data From a Gaussian Process. *J. Multivar. Anal.*, 36, 280–296.
38. Ying, Z. (1993): Maximum Likelihood of Parameters Under Spatial Sampling Scheme. *Ann. Statist.*, 21, 1567–1590.

A simítási dichotómia

Vincze István (1912–1999) emlékére

Bevezetés

Legyenek Y_1, Y_2, \dots valós értékű véletlen változók és X_1, X_2, \dots független, egyforma eloszlású d -dimenziós véletlen vektorok, ahol $d \in \mathbb{N}$ rögzített természetes szám, úgy, hogy a két sorozat együttesen stacionárius valamilyen $(\Omega, \mathcal{A}, \mathbb{P})$ valószínűségi mezőn, és $\mathbb{E}(|Y|) < \infty$, ahol $(Y, X) = (Y_1, X_1)$. A $g(x) = \mathbb{E}(Y|X = x)$, $x \in \mathbb{R}^d$, többváltozós regresszió-függvény becslése, vagyis Y -nak az $X = x$ feltételre vonatkozó feltételes várható értékének becslése a nemparametrikus statisztikai becslésmélet egyik alapfeladata, azon feltétel mellett, hogy az X vektornak létezik a d -dimenziós Lebesgue-mértékre vonatkozó f sűrűségfüggvénye. Ezt a feladatot az alkalmazások túlnyomó többsége által megkívánt

$$Y_i = g(X_i) + \varepsilon_i, \quad i = 1, 2, \dots, \quad (1)$$

additív regressziós modellben szokás vizsgálni, amelyben az $\varepsilon = \varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots$ véletlen hibák nem figyelhetők meg: eredendően csak annyit tudunk róluk, hogy stacionárius sorozatot alkotnak, $\mathbb{E}(\varepsilon^2) < \infty$ és $\mathbb{E}(\varepsilon|X) = 0$ majdnem biztosan.

Adott n elemű $(Y_1, X_1), \dots, (Y_n, X_n)$ minta mellett $g(x)$ legfontosabb becsléseinek egyike a Nadaraya–Watson-féle becslés. Ennek bevezetéséhez válasszunk egy K_0 egyváltozós magfüggvényt, ami most a meghatározottság kedvéért legyen egy olyan korlátos és szimmetrikus sűrűségfüggvény, amelyre $K_0(y) = 0$, ha $y \notin [-1, 1]$, és vezessük be a $K(x) = K_0(x_1) \dots K_0(x_d)$ függvényt, ahol $x = (x_1, \dots, x_d) \in \mathbb{R}^d$. A becslés ekkor

$$\hat{g}_n(x) = \frac{\sum_{i=1}^n K\left(\frac{x - X_i}{b_n}\right) Y_i}{\sum_{i=1}^n K\left(\frac{x - X_i}{b_n}\right)}, \quad x \in \mathbb{R}^d, \quad (2)$$

ahol $b_n > 0$ az ablak- vagy sávszélességek egy determinisztikus sorozata, amely $n \rightarrow \infty$ esetén nullához tart. Az utóbbi három évtized sokrétű vizsgálataiból kiderült, hogy K_0 választása különösképpen nem befolyásolja a becslés megbízható működését, a b_n sávszélesség választására azonban – amely megszabja azt, hogy $g(x)$ becslésénél az x pontnak mekkora az a környezete, ahová eső X_i bemeneti adatokat figyelembe vesszük – a becslési eljárás igen érzékeny.

Regularitási feltételek nélkül persze a becslési módszerek elméleti tulajdonságai nem vizsgálhatók. Ebben a tekintetben, bár némelyik eredmény esetén kevesebb is elég lenne, kényelmi okokból itt mindvégig feltesszük, hogy azoknak a különböző $x_1, \dots, x_l \in \mathbb{R}^d$ pontoknak egy környezetében, ahol a becslés történik, az $f(\cdot)$ sűrűségfüggvény és a becslendő $g(\cdot)$ regressziós függvény kétszer folytonosan differenciálható és $f(\cdot)$ pozitív, ahol $l \in \mathbb{N}$ tetszőlegesen rögzített. A legfontosabb azonban az, hogy milyen feltételeket teljesít az $\{\varepsilon_i\}$ hibasorozat. Jelölje \xrightarrow{D} az eloszlásban történő konvergenciát; minden, másként nem specifikált konvergencia arra vonatkozik, amint $n \rightarrow \infty$. Közismert, hogy ha $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots$ függetlenek és egyforma eloszlásúak, akkor, amennyiben a sávszélességekre teljesül, hogy $nb_n^d \rightarrow \infty$ és $nb_n^{d+4} \rightarrow 0$, fennáll, hogy

$$\sqrt{nb_n^d} (\hat{g}_n(x_1) - g(x_1), \dots, \hat{g}_n(x_l) - g(x_l)) \xrightarrow{D} (\sigma(x_1)N_1, \dots, \sigma(x_l)N_l), \quad (3)$$

ahol N_1, \dots, N_l független, standard normális véletlen változók, és a

$$\kappa_d^2 = \left[\int_{-1}^1 K_0^2(u) du \right]^d$$

jelöléssel,

$$\sigma^2(x) = \kappa_d^2 \mathbb{E}(\varepsilon^2 | X = x) / f(x) = \kappa_d^2 \mathbb{E}([Y - g(x)]^2 | X = x) f(x), \quad x \in \mathbb{R}^d.$$

Az nb_n^{d+4} sorozat nullához tartása annak a feltétele, hogy a becslés felnagyított

$$\sqrt{nb_n^d} [g(x_j) - \mathbb{E}(\hat{g}_n(x_j))]$$

torzítása az összes tekintett x_j pontban aszimptotikusan eltűnjön, $j = 1, \dots, l$. Legalábbis független $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots$ esetén a négyzetes hibák minimalizálásának különböző kritériumai mind a cnb_n^{d+4} alakú optimális sávszélességre vezetnek, amelyben azonban a probléma lényegében minden aspektusától függő $c > 0$ konstansnak a mintából történő becslése igen nehéz feladat; ezért foglalkozik a kérdéskörrel több száz dolgozat. Tekintve, hogy a (3) jobb oldalán fellépő normális fehér zaj nem realizálható mintafolytonos Gauss-folyamatként, és így a végesdimenziós eloszlásoknak ez a konvergenciája nem erősíthető a folytonos

függvények terében történő gyenge konvergenciává, az eredmény egyúttal azt is mutatja, hogy független hibák esetén a regressziós függvényt *egyenletesen* nem lehet vagy legalábbis nehéz becsülni. (Minthogy ugyanez a végkövetkeztetés érvényes determinisztikus bementű regressziónál és sűrűségbecslésnél is, a terület általános megnevezésére sokszor használt „görbebecslés” kifejezés így akár félrevezető is lehet.)

Bár az $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots$ hibák függetlensége természetesen igen sok gyakorlati probléma tárgyalásánál feltehető, a kezdet kezdetétől világos volt persze az is, hogy sok más esetben ez nincs így, és a legutóbbi évtizedben az utóbbi példák az alkalmazott irodalomban jelentősen elszaporodtak. Már régóta kiterjedt vizsgálata folyik annak, hogy különböző keverési tulajdonságok mellett meddig mehetnek el azok az $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots$ sorozat gyenge függőségére vonatkozó feltételek, amelyek mellett a (3) konvergenciát és a négyzetes hibákra vonatkozó kapcsolatos eredményeket meg lehet őrizni. Noha formális általánosításokról van szó, ezek a vizsgálatok néha igen érdekesek matematikai szempontból. Arról azonban nem adnak számot, hogy hol van az a pont, ahol a gyenge függőség erőssé válik, és arról még kevésbé persze, hogy mi történik ezen a ponton és utána.

A gyenge és erős függőség, avagy a rövid és hosszú memória egymástól történő elhatárolását feltehetőleg csak valamilyen értelemben konkrétabb, szemi-parametrikus modellben lehet megcsinálni. Két ilyen modell vált ismertté a valószínűség-elméletben, és ezekből kiindulva kezdeményeztük Jan Mielniczuk varsói matematikussal az [1]–[8] cikksorozatunkban a rövid és hosszú memóriájú idősorok nemparametrikus becsléseleméletének kidolgozását, részben építve a [9]–[12] cikkek eredményeire. Ebből itt a fenti regressziós problémára vonatkozó eredményeket vázoljuk röviden a [7]–[8] dolgozatok alapján, miután ismertettük a két modellel kapcsolatos olyan lényegesebb tudnivalókat, amelyek már az eredmények megfogalmazásában is szükségesek.

A lényeg az, hogy az (1) regressziós modellben a nem megfigyelhető hibák szerkezetét modellezzük, azt feltéve a továbbiakban, hogy

$$Y_i = g(X_i) + \varepsilon_i, \quad \text{ahol} \quad \varepsilon_i = G(Z_i, X_i), \quad i = 1, 2, \dots, \quad (4)$$

valamilyen $G: \mathbb{R}^{1+d} \rightarrow \mathbb{R}$ Borel-mérhető függvényre, ahol $\{Z_i\}_{i=1}^\infty$ valós értékű véletlen változók egy olyan stacionárius sorozata, amely független a bemeneti vektorok $\{X_i\}_{i=1}^\infty$ sorozatától, és az alábbi két szakaszban tárgyalt feltételek valamelyikét teljesíti. A $G(\cdot, \cdot)$ függvényre vonatkozó regularitási feltételek itteni felsorolása helyett az eredeti [7]–[8] dolgozatokra utalunk; azt feltesszük persze, hogy $\mathbb{E}(G(Z, x_j)) = 0$, $\mathbb{E}(G^2(Z, x_j)) > 0$, és hogy az $\mathbb{E}(G^2(Z, \cdot))$ függvény korlátos az x_j pont egy környezetében, $j = 1, \dots, l$, ahol $Z = Z_1$.

Hosszú memóriájú Gauss-sorozatok

A két eset közül az egyszerűbb az, amikor $\{Z_i\}_{i=1}^{\infty}$ egy Gauss-sorozat, vagyis a sorozat bármely véges részsorozatának eloszlása normális. Feltesszük, hogy $\mathbb{E}(Z) = 0$. Jelölje $r(i) = \mathbb{E}(Z_1 Z_{i+1})$, $i = 0, 1, \dots$, a sorozat a kovarianciafüggvényét, és tegyük fel azt is, hogy $r(0) = \mathbb{E}(Z^2) = 1$. Ekkor, amennyiben φ a standard normális sűrűségfüggvény, és $H_j(z) = (-1)^j e^{z^2/2} d^j e^{-z^2/2} / dz^j$, $z \in \mathbb{R}$, jelöli a j -dik Hermite-polinomot, $j = 0, 1, 2, \dots$, bármelyik $\mathbf{x} = \mathbf{x}_r$, $r = 1, \dots, l$, pontban érvényes a

$$G(z, \mathbf{x}) = \sum_{j=m(\mathbf{x})}^{\infty} \frac{c_j(\mathbf{x})}{j!} H_j(z), \quad z \in \mathbb{R},$$

Fourier–Hermite sorfejtés az $\mathcal{L}^2(\mathbb{R}, \varphi)$ térben, ahol az $m(\mathbf{x}) = \min\{j : c_j(\mathbf{x}) \neq 0\} \in \mathbb{N}$ szám a $G(\cdot, \mathbf{x})$ függvény úgynevezett Hermite-rangja.

Valamely $j \in \{1, \dots, l\}$ esetén akkor mondjuk, hogy a $\{G(Z_i, \mathbf{x}_j)\}_{i=1}^{\infty}$ sorozat *rövid memóriájú*, ha $\sum_{i=1}^{\infty} \mathbb{E}(|G(Z_1, \mathbf{x}_j) G(Z_{i+1}, \mathbf{x}_j)|) < \infty$, mely feltétel minden j -re történő teljesülése $r(n) \rightarrow 0$ esetén azzal ekvivalens, hogy $\sum_{i=1}^{\infty} |r(i)|^m < \infty$, ahol $m = \min\{m(\mathbf{x}_1), \dots, m(\mathbf{x}_l)\} \in \mathbb{N}$; ellenkező esetben legalább egy sorozat *hosszú memóriájú*.

Ha a (4) modellben $\{Z_i\}_{i=1}^{\infty}$ olyan Gauss-sorozat, amelyre a fenti feltételek mellett $\sum_{i=1}^{\infty} |r(i)|^m < \infty$, akkor a $G(\cdot, \cdot)$ függvényre tett természetes regularitási feltételek mellett [7]-ben bebizonyítottuk, hogy ha $nb_n^d \rightarrow \infty$, és $nb_n^{d+4} \rightarrow 0$, akkor (3) továbbra is érvényben marad, ahol most $\sigma^2(\mathbf{x}) = \kappa_d^2 \mathbb{E}(\varepsilon^2 | \mathbf{X} = \mathbf{x}) / f(\mathbf{x}) = \kappa_d^2 \mathbb{E}(G^2(Z, \mathbf{x})) / f(\mathbf{x})$, $\mathbf{x} \in \mathbb{R}^d$. A rövid memóriájú esetben tehát az aszimptotikus viselkedés ugyanolyan, mint amikor a hibák függetlenek.

A hosszú memóriájú esetben valamivel több strukturális feltételre van szükség. Azt tesszük fel, hogy $r(i) = \mathbb{E}(Z_1 Z_{i+1}) = L(i)/i^\alpha$, $i = 1, 2, \dots$, valamilyen $\alpha \in (0, 1)$ konstanssal, ahol $L : [1, \infty) \rightarrow \mathbb{R}$ olyan függvény, amely a végtelen valamely környezetében pozitív, és a végtelennél lassú változása. Ekkor legalább egy transzformált sorozat hosszú memóriáját az $m\alpha < 1$ feltétel biztosítja, mely feltétel mellett Dobrushin és Major [10], valamint Taqqu [12] függetlenül elért eredményeiből következik, hogy

$$\frac{a_{n,m}}{n} \left(\sum_{k=1}^n G(Z_k, \mathbf{x}_1), \dots, \sum_{k=1}^n G(Z_k, \mathbf{x}_l) \right) \xrightarrow{D} Y_m^* \left(c_m(\mathbf{x}_1), \dots, c_m(\mathbf{x}_l) \right),$$

ahol a

$$C_m(\alpha) = \sqrt{\frac{m!(1-m\alpha)(2-m\alpha)}{2}} \quad \text{jelöléssel} \quad a_{n,m} = C_m(\alpha) \frac{n^{m\alpha/2}}{L^{m/2}(n)},$$

és ha $B(x)$ jelöl egy az egész \mathbb{R} egyenesen adott standard Brown-mozgást, akkor az Y_m^* véletlen változót a következő többszörös Wiener-Itô integrál adja meg:

$$Y_m^* = \frac{C_m(\alpha)}{C_\alpha^{m/2}} \int_{\{-\infty < u_1 < \dots < u_m < 1\}} \int \left[\int_0^1 \prod_{j=1}^m \left[(v-u_j)^+ \right]^{-(\alpha+1)/2} dv \right] dB(u_1) \cdots dB(u_m),$$

ahol $C_\alpha = \int_0^\infty (x+x^2)^{-(\alpha+1)/2} dx$. Ismeretes, hogy $E(Y_m^*) = 0$ és $E((Y_m^*)^2) = 1$ bármely $m \in \mathbb{N}$ esetén, Y_1^* normális eloszlású, de Y_2^*, Y_3^*, \dots nem normális eloszlásúak.

Hosszú memóriájú mozgó átlagok

A bonyolultabb eset az, amikor a (4) modellben $\{Z_i\}_{i=1}^\infty$ egy mozgóátlag-sorozat: $Z_i = \sum_{j=1}^\infty a_j \xi_{i-j}$, ahol $\{\xi_k\}_{k=-\infty}^\infty$ független, egyforma eloszlású véletlen változók egy sorozata, amelyre $E(\xi) = 0$ és $E(\xi^2) = 1$, ahol $\xi = \xi_0$, a nemzérus $\{a_j\}_{j=1}^\infty$ konstansokra pedig $a_j = L_0(j)/j^\beta$ valamilyen $\beta \in (1/2, 1)$ konstanssal, ahol $L_0: [1, \infty) \rightarrow \mathbb{R}$ megint csak a végtelen valamely környezetében pozitív és a végtelennél lassú változású függvény. Ebből következik, hogy $r(i) := E(Z_1 Z_{i+1}) = L(i)/i^\alpha$, $i = 1, 2, \dots$, az $\alpha = 2\beta - 1 \in (0, 1)$ kitevővel és az $L(\cdot) = C_\alpha L_0^2(\cdot)$ lassú változású függvénnyel, ahol C_α a fent bevezetett konstans. Ha most $Z = Z_1$ jelöléssel $\mathbf{x} = x_1, \dots, x_l$ esetén $G_\infty(z, \mathbf{x}) = E(G(z + Z, \mathbf{x}))$ és $G_\infty^{(j)}(z, \mathbf{x}) = \partial^j G_\infty(z, \mathbf{x}) / \partial z^j$, $z \in \mathbb{R}$, akkor Ho és Hsing [11] szerint a $G(\cdot, \mathbf{x})$ függvénynek a Z eloszlására vonatkozó hatványrangja

$$m(\mathbf{x}) = \min_{k \in \mathbb{N}} \left\{ k: G_\infty^{(k)}(0, \mathbf{x}) \text{ létezik, } G_\infty^{(j)}(0, \mathbf{x}) = 0, \text{ ha } j = 1, \dots, k-1, \text{ és } G_\infty^{(k)}(0, \mathbf{x}) \neq 0 \right\}$$

A jelen esetben is vezessük be az $m = \min\{m(x_1), \dots, m(x_l)\} \in \mathbb{N}$ minimális rangot, és állapodjunk meg, hogy mozgó átlagok esetén $C_m(\mathbf{x}) = G_\infty^{(m)}(0, \mathbf{x})$, $\mathbf{x} = x_1, \dots, x_l$.

A rövid memóriájú eset ismét olyan, mint Gauss-sorozatokat esetén: ha a (4) modellben $\{Z_i\}_{i=1}^\infty$ olyan mozgóátlag-sorozat, amelyre $E(\xi^2) < \infty$, és a fenti feltételek mellett $m\alpha \geq 1$, akkor a $G(\cdot, \cdot)$ függvényre tett megfelelő regularitási feltételek mellett [8]-ban bebizonyítottuk, hogy ha $nb_n^d \rightarrow \infty$ és $nb_n^{d+4} \rightarrow 0$, akkor (3) most is érvényben marad, ahol $\sigma^2(\mathbf{x}) = \kappa_d^2 E(\varepsilon^2 | \mathbf{X} = \mathbf{x}) / f(\mathbf{x}) = \kappa_d^2 E(G^2(Z, \mathbf{x})) / f(\mathbf{x})$, $\mathbf{x} \in \mathbb{R}^d$, a mostani Z -vel.

A hosszú memóriájú esetre vonatkozó [11]-beli elmélet (amelyet [8]-ban ki kellett terjesztenünk) elemi alapja az a tény, hogy

$$\frac{a_{n,m}}{n} \sum_{k=1}^n \sum_{j_1 < j_2 < \dots < j_m} \prod_{i=1}^m a_{j_i} \xi_{k-j_i} \xrightarrow{D} Y_m^*$$

bármely olyan $m \in \mathbb{N}$ esetén, amelyre $\mathbb{E}(\xi^{2m}) < \infty$, ahol $a_{n,m}$ és Y_m^* pontosan ugyanazok, mint az előző szakaszban.

A simítási dichotómia hosszú memóriájú regressziós hibák esetén

Feltesszük tehát, hogy fennáll a (4) regressziós modell, amelyben $\{Z_i\}_{i=1}^\infty$ vagy a fentebb leírt Gauss-sorozat, vagy pedig a fenti feltételeknek eleget tevő mozgóátlag-sorozat. Ennek megfelelően m és $c_m(x)$ jelentése kettős, és az alábbi három tétel mindegyike két különböző eredmény leírására szolgál. A tételek mindegyike a $G(\cdot, \cdot)$ függvényre tett bizonyos regularitási feltételek mellett áll fenn, amelyek a két különböző esetben rendre a [7] és a [8] dolgozatokban találhatók; mozgóátlagok esetén a K_0 magfüggvényről kissé többet kell feltenni, mint az itteni bevezetésben, és a 2. és 3. Tételknél azt is, hogy $\mathbb{E}(\xi^{\max(8, 2m)}) < \infty$. A feltételeket ezekben a cikkekben gondosan diszkutáljuk, kimutatva többek között azt is, hogy ezek mindkét esetben teljesülnek a ökonometriában gyakran használt Tobin-féle modellekre.

1. TÉTEL. Ha $m\alpha < 1$, $n^{m\alpha}L^{-m}(n) = o(nb_n^d)$ és az $\{nb_n^{d+4}\}_{n=1}^\infty$ sorozat korlátos, akkor

$$a_{n,m} \left(\hat{g}_n(x_1) - g(x_1), \dots, \hat{g}_n(x_l) - g(x_l) \right) \xrightarrow{D} Y_m^* \left(c_m(x_1), \dots, c_m(x_l) \right).$$

2. TÉTEL. Ha $m\alpha < 1$, $nb_n^d = o(n^{m\alpha}L^{-m}(n))$, $nb_n^d \rightarrow \infty$ és $nb_n^{d+4} \rightarrow 0$, akkor

$$\sqrt{nb_n^d} \left(\hat{g}_n(x_1) - g(x_1), \dots, \hat{g}_n(x_l) - g(x_l) \right) \xrightarrow{D} \left(\sigma(x_1)N_1, \dots, \sigma(x_l)N_l \right),$$

ahol N_1, \dots, N_l független, standard normális változók és $\sigma^2(x) = \kappa_d^2 \mathbb{E}(\varepsilon^2 | \mathbf{X} = \mathbf{x}) / f(\mathbf{x}) = \kappa_d^2 \mathbb{E}(G^2(Z, \mathbf{x})) / f(\mathbf{x})$.

3. TÉTEL. Ha $m\alpha < 1$, $nb_n^d / a_{n,m}^2 \rightarrow C_b^2$ valamely $C_b \in (0, \infty)$ konstansra, és $nb_n^{d+4} \rightarrow 0$, akkor

$$\sqrt{nb_n^d} \left(\hat{g}_n(x_1) - g(x_1), \dots, \hat{g}_n(x_l) - g(x_l) \right) \xrightarrow{D} \left(C_b c_m(x_1) Y_m^* + \sigma(x_1) N_1, \dots, C_b c_m(x_l) Y_m^* + \sigma(x_l) N_l \right),$$

ahol N_1, \dots, N_l standard normális változók és Y_m^* olyan, mint az 1. Tételben, úgy, hogy az $l + 1$ változó Y_m^*, N_1, \dots, N_l független.

Az első két tétel által kifejezett simítási dichotómia intuitív értelme az, hogy ha a b_n sávszélességek elég nagyok a megadott explicit értelemben ahhoz, hogy a becslési pontok nagy környezetéből elég sok mintaelem kerüljön felhasználásra az illető pontokban történő becslésre, akkor a megfigyelésekben megnyilvánuló hosszú memória aszimptotikusan is képes érvényesülni, míg ha ezek a sávszélességek a megadott értelemben kicsik, akkor a becslési pontok körüli megfigyelésekből nem kerül elég sok a becslésbe, és így a hosszú memória aszimptotikusan nem jut érvényre. Az utóbbi esetben, tehát a 2. Tételnél, az eredmény ugyanaz, mintha a $\{Z_i\}_{i=1}^\infty$ sorozat független tagokból állna, dacára annak, hogy ez távolról sincs így, hiszen a sorozatnak hosszú a memóriája, tehát igen erősen függő. A 3. Tétel a két eset közötti határvonalra vonatkozik, és érdekes módon arra jut, hogy ezen a határvonalon a dichotómia két alapesetének a konvolúciója lép fel.

Az előbbi esetben, tehát az 1. Tételnél, a határfolyamat a $\{c_m(x)Y_m^* : x \in \mathbb{R}^d\}$ degenerált folyamat, amelynek a véges dimenziós eloszlásaiban a komponensek nemhogy nem függetlenek, mint a 2. Tétel esetében, hanem az elképzelhető leg-erősebb lineáris függőségi viszonyban vannak. Az 1. Tétel azt állítja, hogy az $\{a_{n,m}[\hat{g}_n(x) - g(x)] : x \in \mathbb{R}^d\}$ folyamatok véges-dimenziós eloszlásai konvergálnak a $\{c_m(x)Y_m^* : x \in \mathbb{R}^d\}$ folyamat véges-dimenziós eloszlásaihoz. Bár ezt nem dolgoztuk ki a [7] és [8] cikkekben, a sűrűségfüggvények hosszú memóriájú adatokból történő becslésére az [1] cikkben elért eredményekkel kapcsolatos analógiából világos, hogy a jelenlegi regularitási feltételek egyenletes fennállása esetén, némi esetleges extra simaság mellett, az $a_{n,m}[\hat{g}_n(\cdot) - g(\cdot)]$ folyamatsorozat kompakt $H \subset \mathbb{R}^d$ halmazokon feszes is lesz, tehát a tétel állítása a folytonos függvényeknek a szupremum-távolsággal ellátott teljes szeparábilis $C(H)$ térben történő gyenge konvergenciává erősíthető. [Jelenleg a $G(\cdot, x)$ függvényeknek még csak folytonosnak se kell lenniük, ami a Tobin-modellek esetében fontos is, hogy így legyen.] Amint ezt a bevezetésben megjegyeztük, ilyen „erősítés” elvileg lehetetlen a 2. Tétel esetében. A hosszú memóriájú erős függés, amennyiben az 1. Tétel nagy ablakszélességei ezt érvényesülni hagyják, a lokális becslési problémát globálissá teszi: elvben lehetőség nyílik a regressziós függvény konfidencia-sávokkal vagy konfidencia-tartományokkal történő becslésére, tehát valódi „görbebecslésre”, ami nem igazán lehetséges független vagy akár rövid memóriájú hibák esetén vagy akkor, amikor a 2. Tétel kis sávszélességei nem engedik meg, hogy a megfelelő hosszú memória valóban emlékezni tudjon.

Ha egy konkrét problémánál a megfigyelések függőnek látszanak, és ennek alapján a (4) modellt komolyan akarjuk venni, akkor az 1. Tétellel kapcsolatos fenti pozitív kicsengés természetesen csak elvi jellegű a dolgok jelenlegi állásánál: a tétel konkrét alkalmazhatósága több problémát vet fel, mint amennyit megold.

Ezek főleg α és m becslhetőségével kapcsolatosak. Az α paraméter becslése még abban a különben feltehetően fontos speciális esetben sem könnyű, amikor $G(z, \mathbf{x}) = z$ bármely $(z, \mathbf{x}) \in \mathbb{R} \times \mathbb{R}^d$ esetén, tehát amikor a hibák vagy hosszú memóriájú normális sorozatot, vagy hosszú memóriájú mozgóátlag-sorozatot alkotnak, és így tudjuk, hogy $m = 1$. Ezek közül az első problémára már találhatók eredmények az irodalomban, hiszen a kérdés kapcsolatba hozható egy frakcionális Brown-mozgás Hurst-paraméterének a becslésével.

Mindenesetre a dichotómia feltárása új szemponttal gazdagítja a sávzsélesség választásának klasszikus problémáját akkor, amikor a regressziós hibák hosszú memóriával bírnak, és véleményünk szerint egy kezdeti lépést tesz a lehetséges jó megoldások irányába: a szokásostól nagyobb h_n választásával szerintünk hagyni kell a függőség érvényesülését, vagyis engedni a hosszú memória emlékezőképességének működését.

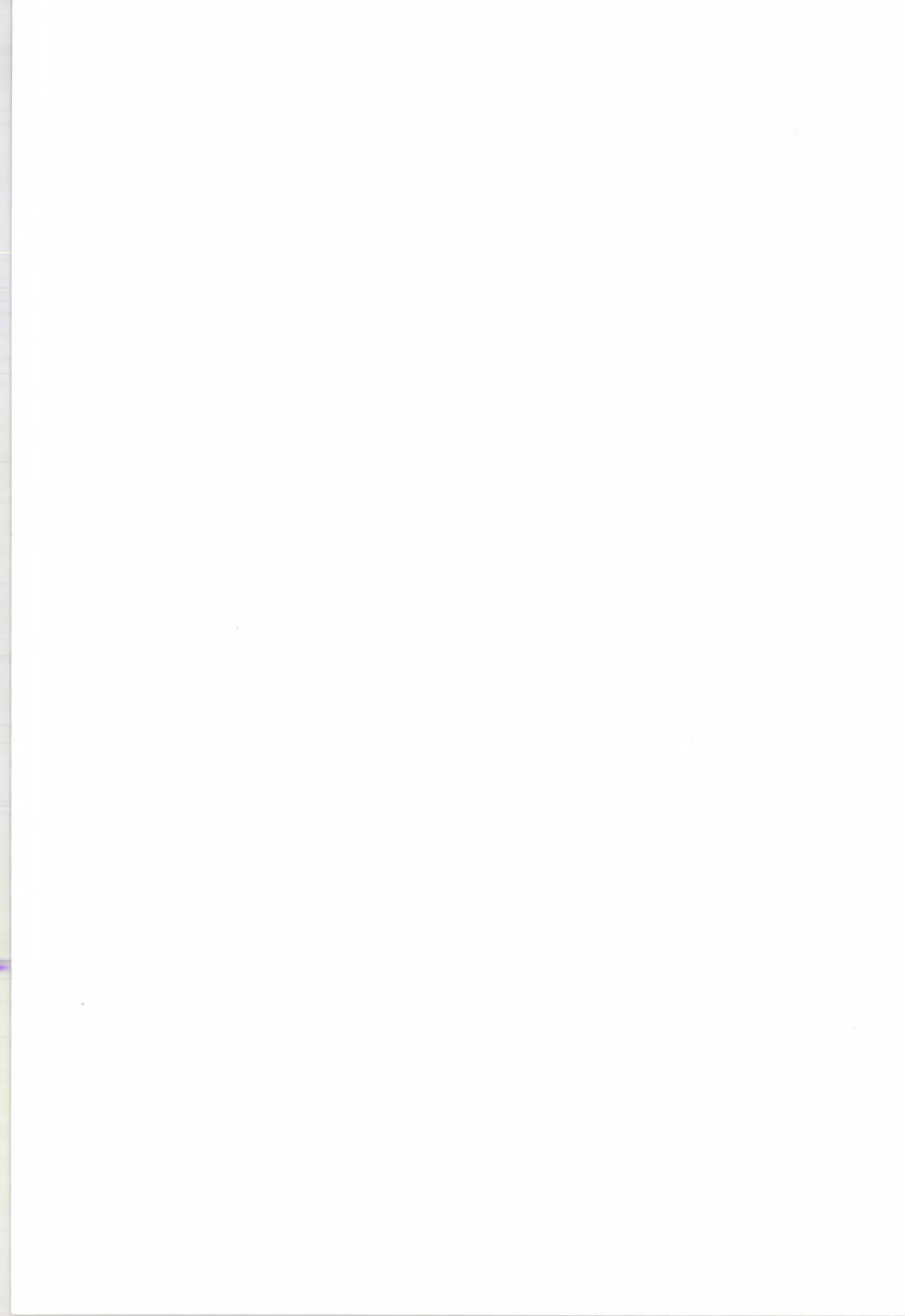
Végezetül megjegyezzük, hogy a (2) alatti becslés dichotómikus viselkedését tipikusnak tekintjük, és ennek megfelelően azt várjuk, hogy a simítási dichotómia megfelelő alakja más fajtájú becslések (mint például az utóbbi időben egyre népszerűbbé váló, úgynevezett lokális simítók) aszimptotikus viselkedésében is fellép.

Irodalom

- [1] Csörgő, Sándor, Mielniczuk, Jan: Density estimation under long-range dependence. *The Annals of Statistics*, 23 (1995), 990–999.
- [2] Csörgő, Sándor, Mielniczuk, Jan: Nonparametric regression under long-range dependent normal errors. *The Annals of Statistics*, 23 (1995), 1000–1014.
- [3] Csörgő, Sándor, Mielniczuk, Jan: Close short-range dependent sums and regression estimation. *Acta Scientiarum Mathematicarum (Szeged)*, 60 (1995), 177–196.
- [4] Csörgő, Sándor, Mielniczuk, Jan: Distant long-range dependent sums and regression estimation. *Stochastic Processes and their Applications*, 59 (1995), 143–155.
- [5] Csörgő, Sándor, Mielniczuk, Jan: Extreme values of derivatives of smoothed fractional Brownian motions. *Probability and Mathematical Statistics*, 16 (1996), 211–219.
- [6] Csörgő, Sándor, Mielniczuk, Jan: The empirical process of a short-range dependent stationary sequence under Gaussian subordination. *Probability Theory and Related Fields*, 104 (1996), 15–25.
- [7] Csörgő, Sándor, Mielniczuk, Jan: Random-design regression under long-range dependent errors. *Bernoulli*, 5 (1999), 209–224.
- [8] Csörgő, Sándor, Mielniczuk, Jan: The smoothing dichotomy in random-design regression with long-memory errors based on moving averages. *Statistica Sinica*, 10 (2000), 771–787.
- [9] Dehling, Herold, Taqqu, Murad S.: The empirical process of some long-range dependent sequences with an application to U-statistics. *The Annals of Statistics*, 17 (1989), 1767–1783.
- [10] Dobrushin, R. L., Major, Péter: Non-central limit theorems for non-linear functionals of Gaussian fields. *Zeitschrift für Wahrscheinlichkeitstheorie und verwandte Gebiete*, 50 (1979), 27–52.
- [11] Ho, Hwai-Chung, Hsing, Tailen: Limit theorems for functionals of moving averages. *The Annals of Probability*, 25, (1997), 1636–1669.
- [12] Taqqu, Murad S.: Convergence of integrated processes of arbitrary Hermite rank. *Zeitschrift für Wahrscheinlichkeitstheorie und verwandte Gebiete*, 50 (1979), 53–83.

AGRÁRTUDOMÁNYOK OSZTÁLYA

STRATÉGIAI KIHÍVÁSOK AZ EZREDFORDULÓN



Állami szerepvállalás a mezőgazdaságban

„A kormányzatoknak olyan rendszert kell biztosítaniuk a gazdálkodóknak, melyben az inputokért nem kell a világpiacinál magasabb árakat fizetniük, termékeikért pedig megkapják a világpiaci árat.”

(Robert L. Thomson)

Az agrárpolitika, illetve ezen belül az állami beavatkozás a gazdasági folyamatok közvetlen és közvetett irányításába hosszú történeti folyamat eredménye. Bár az intenzitása az elmúlt évtizedekben, -századokban változott, de végül is mindig tetten érhető. A beavatkozás elsősorban a termékek és termelési tényezők piacának szabályozására, a mezőgazdasági termelők élet- és munkafeltételeinek tudatos alakítására, illetve általában a mezőgazdasági termelés fejlődésének befolyásolására irányul. Ebből következően a kormányzati beavatkozás főbb területei a birtokpolitika, a struktúrapolitika, a műszaki fejlesztés, a piaci szabályozás, a gazdaságok működési feltételeinek szabályozása, valamint a gazdálkodók és a mezőgazdaságból élők életkörülményeinek alakítása. Az utóbbi években, évtizedekben új beavatkozási területként jelent meg a természeti környezet megővésének kényszere, valamint a mezőgazdaság és a vidék összehangolt fejlesztésének kormányzati szabályozása. Fontos gazdaságpolitikai feladat, hogy az állam olyan mértékben legyen jelen az agrárgazdasági folyamatok alakításában, melyben elsősorban a különböző tevékenységek folyásának peremfeltételeit hozza összhangba a más nemzetgazdasági ágazatok fejlődésével, ugyanakkor nem gátolja a piaci automatizmusok és a belső törvényszerűségek hatékonysági és profitnövelő hatásának érvényre jutását.

Kutatómunkánkban e bonyolult témán belül az elméleti kérdések mellett részletesen elemezzük az állam szerepét a birtokpolitika, a tőkeellátás, a piaci rendtartás és vidékfejlesztés területén. Célunk volt olyan javaslatok megfogalmazása, amelyek hozzájárulhatnak az agrárpolitikai döntések tudományos megalapozásához.

Összefoglaló következtetések

1. *A mezőgazdaság üzemi szerkezete, birtokviszonyai jogi és gazdasági megszilárdulásra várnak.* A birtokszerkezeten mielőbb változtatni kell, hogy életképes, korszerű mezőgazdasági vállalkozások alakulhassanak ki.

A mai termelői struktúrában a társas gazdálkodás (gazdasági társaság, szövetkezet) jelentős maradhat a gabona, a szarvasmarha- és a baromfi-hús-ágazatban, továbbá számottevő a sertéshús-előállításban. A többi ágazatban jobb a családi farm esélye. Ám egyetlen ágazatban sem zárható ki a nagyüzem-kisüzem párhuzamos tevékenysége, még kevésbé együttműködése. Tulajdonképpen egyik gazdálkodási rendszer sem eurokonform abban a formában, ahogy az 1970-es és 1980-as évtizedben működött. Az azonban elképzelhetetlen, hogy az 1990-es évtized vajúdása, kínlódásai során (gyakran a politika ellenében is) kialakult szerkezetet gyökeresen átalakítsuk. Ilyen követelmény az EU részéről sem fogalmazódott meg.

Rendezésre szorul a mezőgazdasági termelést folytató *egyéni gazdaságok* (kis-termelők) több százezres köre. Itt nem volna szerencsés a gazdaság spontán fejlődésére, a piac differenciáló hatására bízni a jövőt, az árutermelés és az önellátás teljes elszakadását. A magyar szürke (vagy fekete) gazdaság mintegy hatodrésztét képviselő, több százezer család emberséges és igazságos szociálpolitikai kezelése a termelési aspektusnál lényegesebb feladat. Távlatban a magyar vidék sorsa, fejlődése, nyugalma függ a választóvonal meghúzásától. A kettébontást sem a termelés, sem az adózás, ugyanígy sem a statisztikai, sem az ágazati érdekvédelem nem végezheti el a másik és a helyi önkormányzat együttműködése nélkül.

A birtokszerkezetet alakító birtokpolitikának számos eszköze van, azonban ezek csak akkor lehetnek hatékonyak, ha egy jól megalapozott agrárpolitikai cél szolgálataiban működnek. Az állam szerepe az agrárpolitika kidolgozásában és a végrehajtás összehangolásában nélkülözhetetlen (ezt a hazai történelmi tapasztalatok és az EU-országok gyakorlata egyaránt bizonyítja).

Az agrárpolitikán belül a *birtokpolitika* céljai az alábbiak lehetnek: a földtulajdon és -használat szorosabb kapcsolata, családi gazdaságok kialakulásának, fejlődésének elősegítése, a kis-, közép- és nagyobb gazdaságok (vállalatok, társaságok) ésszerű arányának fenntartása, a helyi lakosság földtulajdonlásának előtérbe helyezése, a gazdaságosan művelhető területkialakítás segítése.

A birtokszerkezet alakításának számos eszköze van. Megkülönböztethetünk piaci és nem piaci eszközöket. Az állam a piaci eszközöket is befolyásolhatja, míg a piacon kívüli eszközök az állam beavatkozása nélkül aligha működnének.

A piaci eszközök közül kiemelkedő a földpiac. Jelentős birtokszerkezeti változást csak hosszabb idő alatt képes előidézni, de állami szabályozás nélkül (adók, hitel, támogatás, jogi keretek stb.) nemkívánatos irányú változásokhoz vezethet. Piaci

eszköz a földbérlet is (a piacszabályozásnál írottak itt is érvényesek). A *földbérleti* rendszer közvetlenül nem érinti a tulajdonviszonyokat (ez előnye és egyben hátránya is), de az üzemek méreteit kedvezően formálhatja. Jelenleg a földhasználat korántsem olyan elaprózott, mint a földtulajdon. A földhasználat alapján a hazai árutermelő üzemek átlagos mérete valószínűleg meghaladja az EU mezőgazdaságának átlagos üzemméretét. Bizonyos konstrukciók (pl. földleadás esetén nyugdíj, illetve nyugdíj-kiegészítés, elővételi jogok) szintén kedvező birtokszerkezeti változásokat idézhetnének elő. Az önkéntes földcserék is előnyös birtokrendezési feladatokat oldhatnak meg. Hasonlóan a piacon keresztül hat közvetlenül a birtokszerkezetre az is, ha a *mezőgazdaság általános támogatási, hitel-, adó-, és jogszabályi feltételei* preferálnak meghatározott birtokkategóriákat, típusokat (családi, gazdasági méretek növelése, fiatal gazdák segítése stb.). Az előbbieket összehangolt alkalmazása igényli azt, hogy a preferálni kívánt gazdaságok nyilvántartásba vétessenek, és a preferenciák, valamint azok hatásai nyomon követhetők legyenek.

Mindezeket a piaci eszközöket célszerű a birtokpolitika szolgálatába állítani, nem szabad ezekről lemondani, a nem piaci, *direkt eszközök* (pl. a tagosítás) soha nem lehetnek kiterjedtségükben általános érvényűek, időben is csak korlátozott és meghatározott előfeltételek mellett alkalmazhatók ésszerűen.

További szempont az is, hogy a *piaci eszközök* alkalmazása elsősorban a *földtulajdon* (és -használat) viszonyait alakítja, a *direkt eszközök* (köztük a tagosítás) – a meglévő földtulajdon adottságára épülve – a *földterület ésszerű elrendezését* szolgálja. Életképtelen méretű földtulajdonból nem lehet tagosítással életképes üzemet létrehozni (bár a gazdálkodás feltételei javíthatók), azonban az életképes méretű földtulajdonos földterületét (gazdálkodását) gyakran csak így lehet hatékonyra tenni.

A *birtokpolitika, a földbérlet, földhasználat jogszabályainak megalkotása* is sürgető. A félparaszti vagy félpolgári agrártermelők kezelése, az arra igényt tartók képzése, tanítása társadalmi feladat. Ennek szellemi háttere rendelkezésre áll.

2. A mezőgazdasági termelés feltételeinek megteremtésében, a műszaki haladás támogatásában az állam szerepe általában közvetlen és kiemelkedő jelentőségű. A *közvetlen szerepvállalás annál fontosabb, minél kevésbé alakulnak ki az ágazatban az önerős termelésfejlesztés pénzügyi feltételei*. A mezőgazdaság jelenlegi jövedelmezőségi helyzetére és a tőkeellátottságára a következők a jellemzők:

- A termelésben elérhető jövedelem rendkívül alacsony. Az összes tőke jövedelmezősége 1996-ban 10,7%, a saját tőke mindössze 5,1%, tehát az *idegen tőke kamatigénye jelentős tőkét von ki a mezőgazdaságból*.
- A mezőgazdaság adózatlan nyereségének 38,5%-át fordítják kamattörlesztésre, 24,7%-át befizetik az állami költségvetésbe, 16,0%-ot tesz ki a földbér-

leti díj, amelynek mintegy 60%-a kikerül a mezőgazdaságból (mezőgazdasági termeléssel nem foglalkozó földtulajdonosok bérleti díja). A megtermelt jövedelemnek mindössze 20,8%-a marad a termelőknél.

- Az állami beruházási támogatások némileg enyhítik a mezőgazdaság tőkehiányát, de még így is a szükséges fejlesztési igények töredéke (mintegy 25%-a) áll az ágazat rendelkezésére.

1997-ben a mezőgazdaságban az adózás előtti eredmény 21 970 millió Ft volt. Ezt összevetve a támogatással, úgy tűnik, hogy az eredmény teljes egészében a támogatásból származik. Figyelembe kell azonban venni a költségként megjelenő adókat, járulékokat, a társasági és vállalkozási adókat is. A költségként elszámolt adók és illetékek összege 1997-ben 7523 millió Ft, a társadalombiztosítási járulék (munkavállalóktól levont járulék nélkül) 30 157 millió Ft volt, ugyanakkor a támogatást 23 344 millió Ft. Együttes hatásuk az adózatlan eredményt ebben az évben 14 336 millió Ft-tal rontotta. További költségvetési elvonást jelentett az eredmény után fizetett 4985 millió Ft társasági, vállalkozási adó.

A támogatási rendszer átrendezésének a legfontosabb indoka az, hogy a piacgazdaságban (akár akarja az állam, akár nem) *a termelői árak változása dönti el érdemben a jövedelmet*. Bizonyíthatóan az EU-ban is az árolló nyílása volt a jövedelemvesztés fő tényezője.

Fokozza a feszültséget, hogy az élelmiszerek fogyasztói ára elszakadt a termelői (nyersanyag-) áráktól. A gazdaság és a lakosság egészét a csatlakozás okozta jelentős élelmiszer-árnövekedés érheti. Az EU – országoként hasonló szerkezetű – élelmiszerárai a hazai árakat 2-3-szorosan felülmúlják. A különbség lassú kiegyenlítődése előre látható, ennek *spontán megvalósulása viszont a mezőgazdasági termelők számára kétes eredményt hozhat*. Az áremelkedés egyrészt főként a kistermelők termelési kedvét, piaci jelenlétét erősítheti, (az általuk uralt termékkörökben), és túltermeléshez vezethet, másrészt centralizálódott élelmiszer-forgalmazók a nyersanyagtermelők rovására is növelhetik jövedelmüket.

3. Az állam és az agrárpiacon bonyolult kapcsolatrendszerében központi jelentőségű az *agrárpiaci rendtartás*. A kormányzat által hosszú késlekedés után – 1993 elején – keret jellegű törvényben meghirdetett rendtartásnak azonban *alapvető konstrukciós gyengeségei* vannak.

- A piac építése helyett annak működését korlátozó szabályokra került a hangsúly.
- A garantált árak a hazai feltételek között a lehető legdrágább és a legkevesbé reális megoldást jelenthetik az értékesítési biztonság keretében.
- A kvóták (amelyek körül a konszolidált agrárstruktúrával rendelkező EU-ban is rengeteg zavar van) gyakorlatilag alkalmazhatatlannak tűnnek.

- A terméktanácsok működőképessége az elgondolt formában kétséges, azok új piachelyettesítő és monopolpozíciók átmentésére alkalmas formákká válhatnak.
- A rendszer működtetéséhez szükséges információs bázis hiányában továbbra is szakmailag megalapozatlan intézkedésekre lehet számítani.

A törvény elfogadása óta eltelt időszakban a működési feltételeket csak kis részben sikerült megteremteni. *Sokáig egyáltalán nem kerültek meghirdetésre a tartós orientáció alapjául szolgáló agrárpiaci szabályok, s azok jelenleg is hézagosak. A költségvetési feltételek nem nyújtanak lehetőséget szélesebb körű alkalmazásra.* Nagyrészt hiányoznak a rendszer infrastrukturális és intézményi feltételei.

A rendtartás területei közül jó ideig lényegében egyedül az *exporttámogatási rendszer* működött. Ennek hatásfoka is alacsony, hiszen az koncepcionális, kiszámítható alap helyett pusztán a múltbéli bázison nyugszik. A konspiratív körülmények között, az érdekeltekkel történő párbeszédet nélkülözve megkötött 1994. évi GATT-megállapodás pedig néhány év után végképp megkérdőjelezi az eddigi rendszer fenntartásának lehetőségét.

A fejlett – s a kevésbé fejlett – piacgazdaságokban valódi, *működő piacokra, differenciált piaci intézményrendszerre* épülhet az agrárpiaci szabályozás. Ezzel szemben a hazai rendszer sok tekintetben a piacot, *annak hatékony működését* igyekszik *szimulálni*. A piaci intézmények hiányosságai miatt az agrárpiac önszabályozására építő modell csak elfogadhatatlan nagy zavarok, társadalmi-gazdasági költségek árán működhetne. A piaci zavarok megelőzés, illetve kezelése végett továbbra is nagyrészt egyedi beavatkozások történnek.

Ugyanakkor a piacsabályozási követelményekkel nem indokolható beavatkozások növelik a rendszer működésének kiszámíthatatlanságát. *A nagyszámú beavatkozás nem épül megfelelő piaci információkra, így e beavatkozások sokkal inkább az érdekeltek nyomásgyakorló képességétől, semmint a tényleges piaci helyzettől függenek.*

A hazai agrárpiaci rendtartás konstrukciója és működése nem a piacgazdasági átmenet igényei szerint alakult. *A választott szerkezet a gyakran példaként emlegetett – alapvetően más környezetben működő – EU-rendszernek sem felel meg.* Így például az EU jóval kevésbé kívánja a belső piacot szabályozni, mint az elvi hazai konstrukció; a terméktanácsokhoz hasonló funkciójú szervezetek az EU-ban ismeretlenek stb. A piacsabályozás közvetlen hatásain túlmenően – ám azoktól nem függetlenül – számottevő ellentmondások és torzulások jellemzik a hazai agrárpiacok működését. Hiányzik *e szektorban a piacgazdasági alapú konszolidáció.* Az agrárpiaci torzulások és zavarok elhárításában különösen fontos lenne az állami agrárpiac-politika feszültségoldó s egyidejűleg távlatos struktúrákat előmozdító-építő szerepe.

A magyar kormány az agrárpiaci zavarok nyomására széles körű piacsabályozást ígérő, némileg az EU közös agrárpolitikájára emlékeztető piaci rendtartási

konstrukciót hirdetett meg. Annak belső ellentmondásai s működési feltételeinek (pl. a finanszírozási forrásoknak) a hiánya viszont eleve valószínűsítették a rendszer működésképtelenségét, illetve alacsony hatékonyságú működését, amit ma már empirikusan is alá lehet támasztani. Következésképpen: *a piaci rendtartás reális funkciója csak a piaci egyensúly átmeneti megbomlásának tompítása lehet; a piac-helyettesítő ambíciók megalapozatlanok.*

Ezzel szemben *mindmáig hiányzik az agrárpiacon politika másik fő területe, a versenyhelyzetet szabályozó és kiigazító intézkedéseket tartalmazó piac-struktúra-politika.*

Az átmeneti gazdaság agrárpiacon működését összefoglalva a következőket mondhatjuk: ha az értékesítési csatornák nem eléggé áttekinthetők, a vertikális integráció fejletlen, és a mezőgazdasági alkuerő kedvezőtlen, akkor szükségképpen a rövid távú előrelátás és a spekuláció, továbbá a kereslet és a kínálat felfokozott ingadozása, a ciklusos és időszakos túlermelés és/vagy hiány a jellemző. Azaz a zavarok korántsem átmeneti anomáliák, hanem a rendszerből fakadó szükségszerű következmények.

4. A fejlett nyugat-európai országokban *a vidék szerepének felértékelődése tapasztalható.* Ez az irányzat azon a felismerésen alapul, hogy a vidéki térségek olyan pótolhatatlan természeti, építészeti és más értékeket hordoznak, amelynek fenntartása, gyarapítása és ésszerű hasznosítása az egész társadalom érdeke. Magyarországon a vidékkel való megkülönböztetett törődés azért is indokolt, mert a fejlettségben egyébként is elmaradott, az agrárgazdasághoz szorosan kötődő vidék a gazdasági-társadalmi átalakulás legnagyobb vesztese. A vidék problémái különösen érzékelhetők az életkörülményekben, a foglalkoztatási- és kereseti viszonyokban, a gazdaság – főképpen pedig az agrárgazdaság – teljesítményében. A problémák bonyolultsága, összetettsége és nagymérvű területi kiterjedtsége miatt a vidékfejlesztésben is nélkülözhetetlen az állami irányítás és szerepvállalás.

Vidékefejlesztés alatt olyan *komplex* tevékenységet értünk, melynek a végső célja az, hogy a vidéki térségek tartósan legyenek képesek – elsődlegesen társadalmi érdekből – a társadalomban betöltött funkcióik ellátására.

A hazai vidékfejlesztési politika alapelveiként a következőket javasoljuk:

- Teremtsen olyan feltételeket, amelyek lehetővé teszik, hogy a vidéki területek gazdasági, ökológiai, társadalmi és kulturális funkcióikat tartósan betölthessék és megtarthassák.
- Kezelje kiemelten a vidéki területek közötti feszültségeket és az életkörülmények javítását.
- Alakítson ki ésszerű döntési mechanizmusokat, és a döntéseknél érvényesítsen emberközpontú megközelítést.

- Vegye figyelembe a vidéki térségek sajátosságait, és igazodjék azokhoz, illetve teremtsen keretfeltételeket a vidéken élők alkalmazkodóképességének növekedéséhez.
- Építsen a regionális együttműködésre.
- Számoljon a magyar agrárgazdaság sajátos vidékfejlesztési szerepével, az agrárpolitika ennek, illetve a regionális sajátosságoknak megfelelő átalakításával.

A *vidék fogalma* legkézenfekvőbben a centrum- és a perifériaviszonyok mentén értelmezhető. Ebben a kontextusban a vidéket a centrumhoz viszonyított elmaradottság, az önmeghatározó-képesség hiánya jellemzi. Az OECD vidékfejlesztéssel kapcsolatos ajánlásaira és az Európai Tanács által elfogadott Vidéki Térségek Európai Kartájában foglaltakra alapozva, Magyarországon azok a területek tekinthetők *vidéknek*, ahol jelentős a mező- és erdőgazdasági területhasznosítás, viszonylag magas az agrárszférában dolgozók aránya, alacsony a népsűrűség, ugyancsak alacsony a gazdaság teljesítőképessége, és a településszerkezetben a községek (főként az apró falvak) vannak túlsúlyban. *Vidéki települések* közé azok sorolhatók, amelyek városi státusszal nem rendelkeznek, vagy ha igen, a lakónépességük száma nem haladja meg a 10 000 főt. A *vidéki térségeket* pedig azok a körzetek képezik, ahol a lakónépesség több mint 15%-a vidéki településeken él.

Az ország természeti és gazdaságföldrajzi adottságait, a tradíciókat és a településszerkezetet figyelembe véve, *valószínűsíthető, hogy hazánk számos vidéki térségében az agrárszférának az EU-hoz képest hosszabb távon is nagyobb befolyása lesz a vidék helyzetének alakulásra*, még akkor is, ha az agrártermelés nemzetgazdasági súlyának változásával az ágazat foglalkoztatásban betöltött szerepe is mérséklődni fog.

Javaslatok

1. A hazai zavaros földtulajdoni és -használati rendszer megváltoztatását csak egy *átgondolt földbirtok-politika* alapozhatja meg. Ezzel összefüggésben a következő fő feladatok megoldására kell koncentrálni:

- a mezőgazdaságból élők földtulajdonlásának és földhasználatának előmozdítása,
- a tulajdoni és használati viszonyok közelítése,
- életképes üzemi méretek kialakítása,
- a kis-, közepes és nagyobb méretű gazdaságok ésszerű arányának elősegítése és fenntartása.

A földbirtok-politikának hosszú távra szólónak kell lennie, mert csak erre épülhet biztonságos agrárfejlődés, ezért e témában feltétlen *nemzeti konszenzust kell elérni*.

Ennek hiányában fennáll a veszély, hogy csak lassan, megrázkódtatások útján jönnek létre hatékony termelést biztosító üzemi méretek és az ország (a mezőgazdasági népesség) kiszolgáltatottjává válhat egy olyan befektetői körnek (külföldi és hazai pénztőkések), amely a földet csak spekuláció tárgyának tekinti. Ezen később már aligha lehetne vagy csak nagyon nagy áldozatok árán változtatni.

Jelen helyzetben a birtokrendezés és -tagosítás szükségessége vitathatatlan. Ezzel kapcsolatban azonban nagyon nagy az idegenkedés, amit érthetővé tesz az 1950–60-as években szerzett rossz tapasztalat, valamint az attól való félelem, hogy a csak imént visszakapott földet ismét veszély fenyegeti. A félelmet *körültekintő jogszabályokkal, meggyőző gyakorlati példákkal* (először csak igen szűk körben, önkéntes alapon történő kipróbálás tapasztalatait hasznosítva) lehet eloszlatni.

Az egészséges birtokviszonyok kialakítását elősegítheti a *Nemzeti Földalap* létrehozása, melynek feladta – többek között – a tagosítással egybekötött birtokrendezés elősegítése és felgyorsítása, ezen belül:

- új gazdaságok létesítésének elősegítése,
- a generációváltás folyamatának meggyorsítása,
- a meglévő birtoktestek egyesítése és a mérrethatékonyság javítása a birtokok területének növelése révén.

2. *A mezőgazdasági termelés műszaki-technikai felszerelésének, általában a tőkeellátottságnak az alapvető forrása – normális gazdálkodási és irányítási körülmények között – a mezőgazdaságban keletkezett tiszta jövedelem.* A műszaki-technikai színvonal emelése, a műszaki haladás elősegítése érdekében azonban az államnak, a kormányzati szerveknek tevékeny szerepet kell vállalnia, bizonyos preferenciák nyújtásával és speciális fejlesztési programok indításával is. *Az állami beavatkozásnak annál nagyobb a szerepe, minél kevésbé képződnek meg az ágazatban az önerős termelésfejlesztés feltételei.*

A magyar agrárgazdaság jelenlegi helyzetében legfontosabb feladat a jövedelmezőség javítása, az eladósodottság mérséklése, a tőkeellátottság javítása. Ehhez nem nélkülözhető az állami segítség. Hozzájárulhat ehhez a közvetlenül, a mezőgazdasági termelőknek juttatott támogatás növelése, a nettó befizetés csökkentése, a támogatások reálértékének emelése. Javasoljuk a direkt támogatás növelését, az Európai Unióban alkalmazott direkt támogatás bevezetését, továbbá a támogatás szerkezetének olyan átalakítását, amelyben nagyobb szerepet kapnak a tőkeellátást segítő támogatások. Ezen túlmenően átláthatóbbá kell tenni az agrártámogatások teljes rendszerét. Legcélszerűbb az alábbi logikai struktúra kialakítása:

- a birtokpolitikai elvek megvalósulásának támogatása,
- a műszaki-technikai fejlődés elősegítése,
- a termelési viszonyok szabályozása,
- a jövedelem-elosztás állami befolyásolása.

Hangsúlyozzuk azonban, hogy a legfontosabb kérdés a mezőgazdasági árak nyereségtartalmának növelése, az önerős fejlesztés feltételeinek megteremtése.

A támogatás szerkezeti korszerűsítéséhez igazítva erősíteni kell a támogatási célok specifikációját. Ez alkalmas lehet arra, hogy a fejlesztési és együttműködési támogatások beilleszthetők legyenek a területfejlesztési programokba.

A támogatások hatókörébe hangsúlyozottan be kell vonni a családi gazdaságokat. A feladat az, hogy az EU-ban alkalmazott struktúrapolitikai eszközöket beépítsük a hazai agrárpolitika eszköztárába. Ilyenek például a kezdő fiatal gazdálkodók támogatása, a technológiai és gazdasági jellegű továbbképzés támogatása, a farmok könyvelésének bevezetésére ösztönző támogatások, az értékesítés és a feldolgozás fejlesztése, a termelői csoportok létrehozásának ösztönzése stb. Ugyanakkor a hazai agrárpolitika információs és adminisztrációs rendszerét sürgősen tovább kell fejleszteni, hogy képesek legyünk az EU támogatási rendszerének adminisztrációs befogadására is. Ezek elengedhetetlen előfeltételei annak, hogy a későbbiekben bekapcsolódhassunk az Európai Unió által részfinanszírozott strukturális programokba.

Fokozni kell a támogatás nyilvánosságát, és szükséges a nyilvántartási rendszer naprakész megszervezése és működtetése.

A piacsabályozás bonyolult rendszerén belül a legfontosabb feladatnak tartjuk a *piackonform megoldások alkalmazását a piaci rendtartásban*. Nélkülözhetetlen a piac átláthatóságának javítása, a gazdasági verseny élénkítése, a mezőgazdasági termelők alkuerejének javítása, illetve az ezt segítő beszerző-feldolgozó-értékesítő vállalkozások, *EU-konform szövetkezők létrejöttének támogatása*. A piacgazdaság intézményi kiépítése, a piaci transzparencia bonyolításának hatékony megszervezése az előfeltétele a társadalmi költségek minimalizálásának.

Lényeges állami feladat az agrárpiaci rendtartás keret jellegű törvényi szabályozásában ma még fellelhető anomáliák és feszültségpontok mielőbbi feloldása.

A piacgazdaságban valódi, *működő piacokra, differenciált piaci intézményrendszerre épülhet az agrárpiaci szabályozás*. A piaci intézmények hiányosságai esetén az agrárpiac önszabályozására építő modell csak nagy zavarok és feleslegesen nagy társadalmi-gazdasági költségek árán működhet. Ugyanakkor külön átgondolást igényel az is, hogy a piacsabályozási követelményekkel nem indokolható beavatkozások növelik a rendszer működésének kiszámíthatatlanságát. Ha a *nagyszámú beavatkozás nem épül megfelelő piaci információkra, akkor nő a kockázat és a szabályozás bizonytalansága*. A rendtartás tehát nem helyettesítheti a valódi, működő piacot, sem az annak – egyébként hiányzó – keretfeltételeit generáló piacépítést.

Az *exporttámogatási rendszert úgy kell átalakítani, hogy a támogatás összegéből a mezőgazdasági termelők jóval nagyobb arányban részesüljenek*.

Úgy ítéljük meg, hogy noha a magyar agrárátalakulás látványos feszültségekkel teli időszaka már az évtized első felének vége előtt befejeződött, *továbbra sem*

valósult meg e szektorban a piacgazdasági alapú konszolidáció. Ezért elkerülhetetlen az állami agrárpiac-politika feszültségoldó s egyidejűleg távlatos struktúrákat előmozdító-építő szerepe.

Az EU-csatlakozás küszöbén állunk. *A harmonizációs folyamatban azonban a magyar adottságokat, a nemzeti érdekeket messzemenően figyelembe kell venni.* Addig is kölcsönösen fejleszteni kell az agrárkereskedelmet, a piacra jutási feltételeket. Alapvető cél a regionális fejlődés és a strukturális átalakulás (ezen belül a piaci intézményrendszer és az értékesítési infrastruktúra) előmozdítását célzó strukturális EU-programokban való részvétel lehetőségének igénye.

Csak jól előkészített kormányzati stratégia szolgálhatja a stabilizálást és a piaci alapú strukturális átalakulást, *a piacgazdaság intézményi megalapozását és a társadalmi-gazdasági költségek minimalizálását.* Ez egyben egyfajta minimális program megfogalmazódását is jelentené, ami az agrárgazdaság modernizálásáért felelősséget érző különböző politikai erők számára egyaránt elfogadható és vállalható értéket hordoz.

A fentiekre való tekintettel a *hazai agrár-közgazdaságtani kutatásokkal szemben is megfogalmazható néhány,* mind elméleti szempontból, mind a gyakorlat oldaláról lényeges követelmény. Egyfelől további empirikus vizsgálatok szükségesek az „átmeneti gazdaság” agrárpiaci működésének mechanizmusával és az agrárpiac szabályozásának hatásaival kapcsolatosan. Másfelől elemezni szükséges a fejlett piacgazdaságok agrárpiaci gyakorlatát.

3. Az elkövetkező évek egyik nagyon fontos kormányzati feladata lesz *az agrártermelés és a vidékfejlesztés szerves egybekapcsolása,* a vidék népességmegtartó képességének a fokozása. Ennek fő módja az agrártermelés stabilizálása, munkaerő-kiváltási folyamatának szabályozása, a termelés diverzifikálása és egy nagyon tudatosan irányított infrastrukturális fejlesztés elindítása és támogatása.

Az állami szerepvállalásnak abból a kialakult helyzetből kell kiindulnia, hogy a vidék problémája sok szálon kapcsolódik az agrárgazdaság gondjaihoz, aminek végső következményei a vidéki népesség rosszabb életkörülményei.

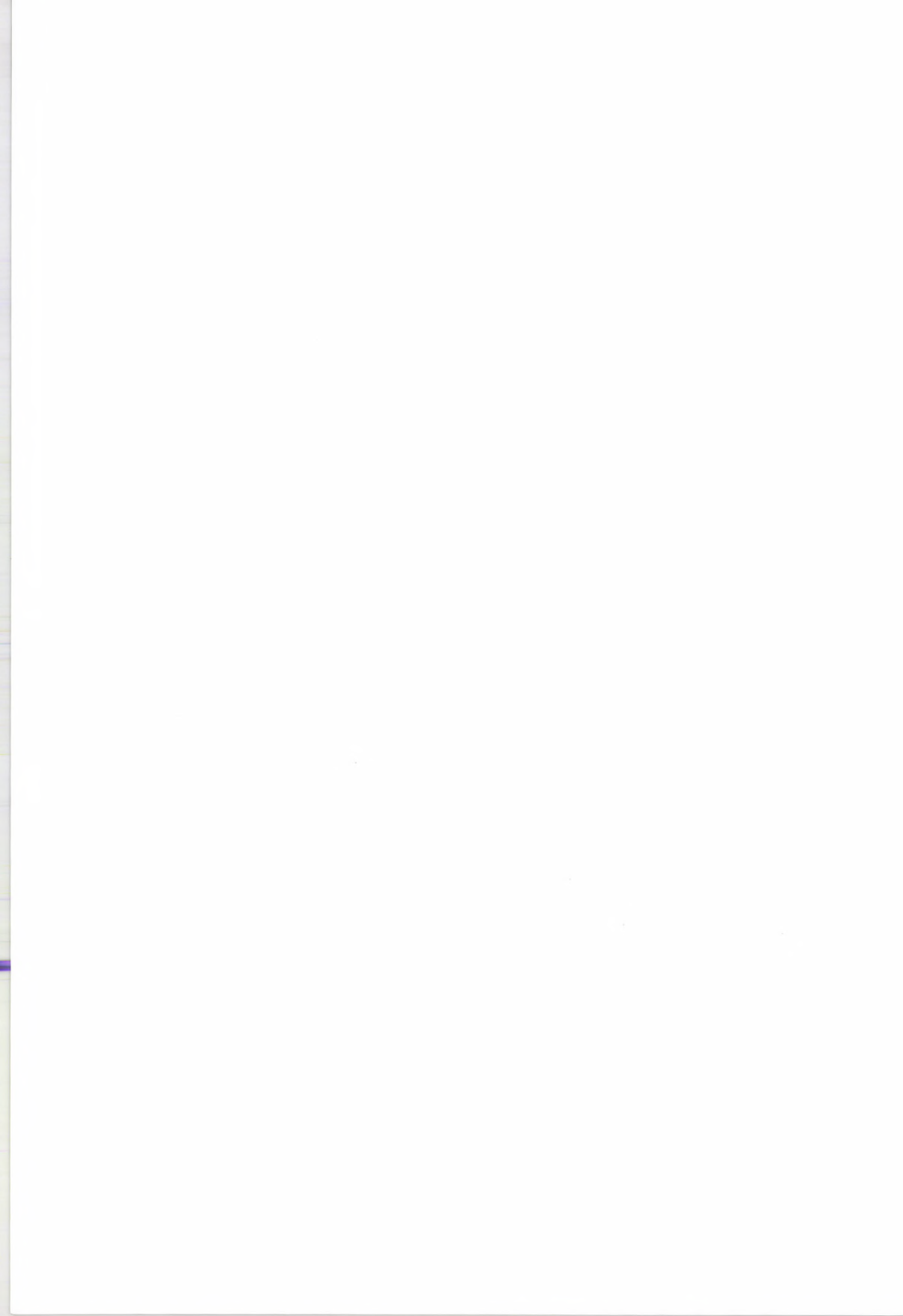
A kilábalás, illetve a gyorsabb fejlődés lehetőségeit keresve, figyelemmel kell lenni a világ más országaiban szerzett tapasztalatokra, megoldási változatokra.

Javasoljuk, hogy készüljön külön *agrárkormányzati elképzelés* a SAPARD programhoz való kapcsolódás részleteinek kidolgozására. Ezáltal válik lehetővé az agrár- és vidékfejlesztés egy rendszerben való összefogása, a hazai erőforrások és a nemzetközi (EU) támogatások célirányos felhasználása. Külön foglalkozni kell azzal, hogy a halmozottan hátrányos helyzetű vidékeken az önkormányzatok, az agrárvállalkozások és más regionális szervezetek is tartós forráshiánnyal küzdenek. Ezért a helyi – de a FVM által koordinált – programok kidolgozásával és az erőforrások koncentrálásával elő kell segíteni, hogy növekedjék e térségek

abszorpciós képessége, s megfelelő önerő álljon rendelkezésre ahhoz, hogy az EU-támogatások igénybevételének ez ne legyen akadálya.

*

Záró gondolatként megerősítjük, hogy az agrárgazdaságban valóban nagyok a gondok. Az utóbbi években készült közgazdasági elemzések sora támasztja alá, hogy legyengült az ágazat teljesítőképessége, és a szereplői nem érzik azt a segítő kormányzati szándékot, amely az ágazat helyzetének általános rendezését szolgálná. Ez aggodalmat, bizonytalanságot vált ki, és tovább mélyíti a problémákat. Elmaradnak a tartós befektetések, erőteljesebbé válik a technológiai lemaradás, hiányoznak azok a birtokpolitikai elképzelés, amelyek talaján a kibontakozás folyamata felgyorsulna. Csak találgatásokra, a spekuláció jelenlétére utal az, hogy mind ez ideig nem készült el az általános mezőgazdasági összeírás, a tiszta, világos helyzetkép felvázolása, ami nélkül nehéz mindenki számára megnyugtató döntéseket hozni.



A termőföld szerepe az agrártermelésben

A termőföld minősége

Az ország termőtalaja olyan nemzeti kincs, melynek megfelelő értékelése az utóbbi évtizedekben sem a közgondolkodásban, sem a gazdasági életben nem valósult meg. Az ebből fakadó gondok még tovább súlyosbodtak a földek tulajdonviszonyaiban bekövetkezett változások, valamint az EU-tagság árnyékában. Ezek hatása a jelenben, de különösen a közeljövőben két vonatkozásban jelentkezik: egyrészt a mezőgazdasági termelés szerkezetének alakulásában, másrészt a környezet változásában, a környezetvédelemben.

Minkét hatás értékelésének feltétele a termőföld minőségének tudományosan megalapozott és egyben a gyakorlati céloknak is megfelelő, nemzetközi összehasonlításban is helytálló meghatározása. Az erre használt aranykorona-érték ezeknek a követelményeknek nem felel meg, jelenlegi használata csak kényszermegoldásnak volt tekinthető, melyen mielőbb változtatni kell. Az a tény, hogy ez az értékelés még ma is használatban van, a kárpótlási folyamat előzményeivel magyarázható ugyan, de tartósan nem fogadható el.

A magyar talajtani tudomány eddigi eredményeivel mindenképp versenyképes az európai országokban elért tudományos és gyakorlati munkákkal, ezért az Európai Unió országaival való egyeztetés során ezeket föl kell használni, olyan közös nevezőt keresve, mely a talaj minőségének nemzetközileg elfogadható rendszerét vezetheti be a mind jobban felértékelődő termőföld minőségének kifejezésére.

Azok a tanulmányok, amelyeket a nemzetközi és hazai eredmények szembeállítására összefoglaltunk, mutatják, hogy e téren nincs egységes rendszer, tehát minden ország – megegyezve bizonyos általános alapfogalmakban – a saját viszonyainak legmegfelelőbb, de ugyanakkor egymással összehasonlítható rendszert fejleszt ki.

Sorra véve a termőföld értékét jellemző fogalmakat, elsőként a talaj minőségét kell számba venni, majd a környezeti tényezőkkel kiegészítve meg kell határozni a termőhely jellemzőit, és végül a gazdasági hatásokat értékelve juthatunk el a földértékhez. Ezek közül a talajminőség a legkevésbé változó, míg az éghajlati, domborzati és geohidrológiai viszonyokkal gazdagított termőhelyi jellemzőkben

viszonylag hosszabb-rövidebb idő alatt állhat be változás, és a gazdasági viszonyok által befolyásolt földértékben már néhány év vagy évtized alatt változások következhetnek be.

Első lépésként tehát a talajminőséget kell meghatározni, és erre építeni a további értékmérőket. A talajminőséget jellemző adatok a céltól függően eltérő részletességű és jellegű adatokból állnak. A tudomány által biztosított számtalan talajjellemző közül ma már ki tudjuk választani azokat, amelyek az elméleti és gyakorlati munkák számára a legszükségesebb információkat tartalmazzák. De a talaj minőségét jellemző adatok között vannak olyanok, amelyek gyakorlatilag állandónak tekinthetők – mint a szemcseösszetétel –, és vannak olyanok, amelyek rövidebb vagy hosszabb idő alatt változnak. Ez a változás lehet időszakos és ismétlődő, de lehet egyirányú is. A változások egy része az ember termelőtevékenységének következménye, és így irányításuk is lehetséges, ha felismertük keletkezésük törvényszerűségeit. Azzal a céllal, hogy a talajok minőségének napjainkban fontossá vált jellemzőit bemutassuk, néhány változásra hívjuk fel a figyelmet, amelynek az utóbbi időben erősödtek fel vagy jelentek meg.

A talajok tömörödése a talajművelés gépesítése, a helytelen művelési időpont és a talajállapot következménye. Káros hatás a belvízképződés veszélyének fokozódásában és a növényi gyökérfejlődés feltételeinek romlásában mutatkozik meg. Az ezzel egyidejűleg jelentkező talajporosodás a kedvezőtlen hatásokat még tovább fokozhatja.

A talaj savasodása részben a légköri savas ülepedés, részben a fokozott műtrágyázás következménye. Hatásaként szűkül a természetből növények választéka. A savasodás hatására megnő a káros nehézfémek felvehetősége, ami egészségügyi károsodásokhoz vezethet. A légköri savas ülepedés a természetes növénytakarót is károsítja, ezáltal környezeti gondokat okoz. A káros hatások csökkentését szolgálja a talajok meszezése, amit azonban az utóbbi években gazdasági okok miatt elhanyagoltak. Kedvezményekkel és támogatásokkal elő kell segíteni újbóli terjedését.

A talajerózió mint a talajpusztulás víz által kiváltott formája az ország nagy részén, mintegy 40%-án okoz kárt. Hatására a termés csökken, de megváltozik a talajok hő- és vízgazdálkodása is, miáltal a környezet is sérül. A FAO fogalmazása szerint akut erózióknak azt tekintik, ami az ember tevékenységének hatására az utóbbi 50 év alatt lépett fel. Hazánkban országos képet az 1962-ben megjelent térkép alapján alkothatunk. E felvételek megisméltése a távérzékelés korszerű módszereinek alkalmazásával elvégezhető, és ezáltal az erózió által okozott talajpusztulás 40 éves alakulásáról konkrét adatokkal rendelkezhetünk a talajvédelem szempontjából legérzékenyebb területek kiválasztásához. Ezzel egyidejűleg fel kell újítani a talajvédelem legegyszerűbb módszereit, szükség szerint meg kell változtatni a földhasználatot, hogy a károk csökkenthetők vagy megszüntethetők legyenek. Különösen fontos a talajvédelmi követelmények teljesítése a birtokren-

dezés folyamatában. A jelenlegi felaprózott földtulajdon nem teszi lehetővé a talajvédelem legelemibb követelményeinek betartását, a szintvonalas művelést sem, ezért az egyéb okok miatt is szükséges birtokrendezést a talajvédelem igényei szerint kell alkalmazni. Ehhez ki kell dolgozni az úrfelvételeken és más távérzékelési módszereken alapuló elveket, illetve ahol adottak, alkalmazni kell azokat.

A talajpusztulás másik formája a szél által okozott talajelhordás, a *defláció*. Ennek pontos elterjedését még oly mértékben sem ismerjük, mint a vízerózióét, ezért a távérzékelés eszközeivel meg kell határozni területi kiterjedését. A tavaszi szeles és száraz időszakokban kártétele a szemünk előtt játszódik le, és bizonyítja, hogy a szél pusztító hatása nemcsak a homoki tájakon és a lápterületeken okoz talajvesztést, valamint a szél által hordott talaj kiváltotta közlekedési és egészségügyi károkat, hanem a kötöttebb mezősegi és erdőtalajokkal fedett tájakon is. A távérzékeléssel fel lehet mérni a mezővédő erdősávok és az útszéli fasorok állapotát is, melyek a szél hatásának mérséklését szolgálják. A talaj minőségének ismerete hozzásegíthet a *belvízképződés* feltételeinek tisztázásához, ezáltal pedig a belvízkárok csökkentésének megvalósításához. Itt visszautalnánk a talajtömődöttség tárgyalásánál megfogalmazottakra mint a belvízképződés egyik fontos tényezőjére. Továbbá fel kell tárnunk azokat az agrotechnikai módszereket, amelyekkel a talajtömődöttséget csökkenteni lehet, és ezáltal a belvíz sújtotta területeken segítséget lehet nyújtani.

A talaj minősége nagymértékben függ ásványi összetételétől és humusztartalmától. Az *ásványi összetétel* egyben meghatározza a talajok környezeti terhelhetőségét. Az ipar, a települések, a közlekedés és a mezőgazdasági tevékenység által kiváltott környezeti terhelések hatása nemcsak a terhelés mértékétől és minőségétől függ, hanem attól is, hogy a talaj milyen mértékben tudja a hatásokat ellensúlyozni, tompítani vagy esetleg semlegesíteni. Ezért szükség van a talajok környezeti terhelhetőségének általános és részletes kutatására, hogy a környezeti károsodás leginkább akut helyei és körzetei meghatározhatók legyenek. Ez irányú munkálatok folyamatban vannak, de folytatásuk a kiemelt feladatok közé tartozik.

A talaj minőségének meghatározó tényezője a talaj *élővilágának megismerése*, tevékenységének értékelése. A talajtan tudományának ez a területe viszonylagosan elmaradott a talaj fizikai és kémiai tulajdonságainak ismeretéhez képest. Ez részben módszertani, részben szemléleti kérdésekre vezethető vissza. Fontos részeredmények már rendelkezésre állnak, azonban a részek szintézise és a termékenységet megszabó más tényezőkkel mutatott összefüggések feltárása és megfogalmazása még hátravan. Ezen a téren tehát fokozott kutatási feladatok várnak megoldásra, hogy a talajba juttatott növényvédő szerek és műtrágyák e téren mutatott hatása is érzékelhető legyen.

A talaj minőségének egyik sarkalatos tényezője a talajok *tápanyag-gazdálkodása*, vagyis tápanyagtartalma és ennek hasznosulása, valamint a trágyázás hatásának

érvényesülése. Az e téren mutatkozó szélsőséges nézetek – mint a nagy adagú műtrágyázás vagy a műtrágyák teljes kikapcsolása – között meg kell találni azt az utat, mely még biztosítja a szükséges terméseket, azonban anélkül, hogy a termés minőségét vagy a környezet minőségét veszélyeztetné. Erre egyik szélsőséges állapot – az 1989–95 közötti évek drasztikusan csökkent műtrágya-felhasználása – kiváló értékelési lehetőséget ad. Ennek tájanként és talajanként mutatott különbségei értékes adatokkal szolgálhatnak az intenzív és az extenzív területek gazdaságos és hatékony műtrágyázására, ezzel kiegészítve az országos trágyázási kísérleti hálózat telepein észlelt adatokat.

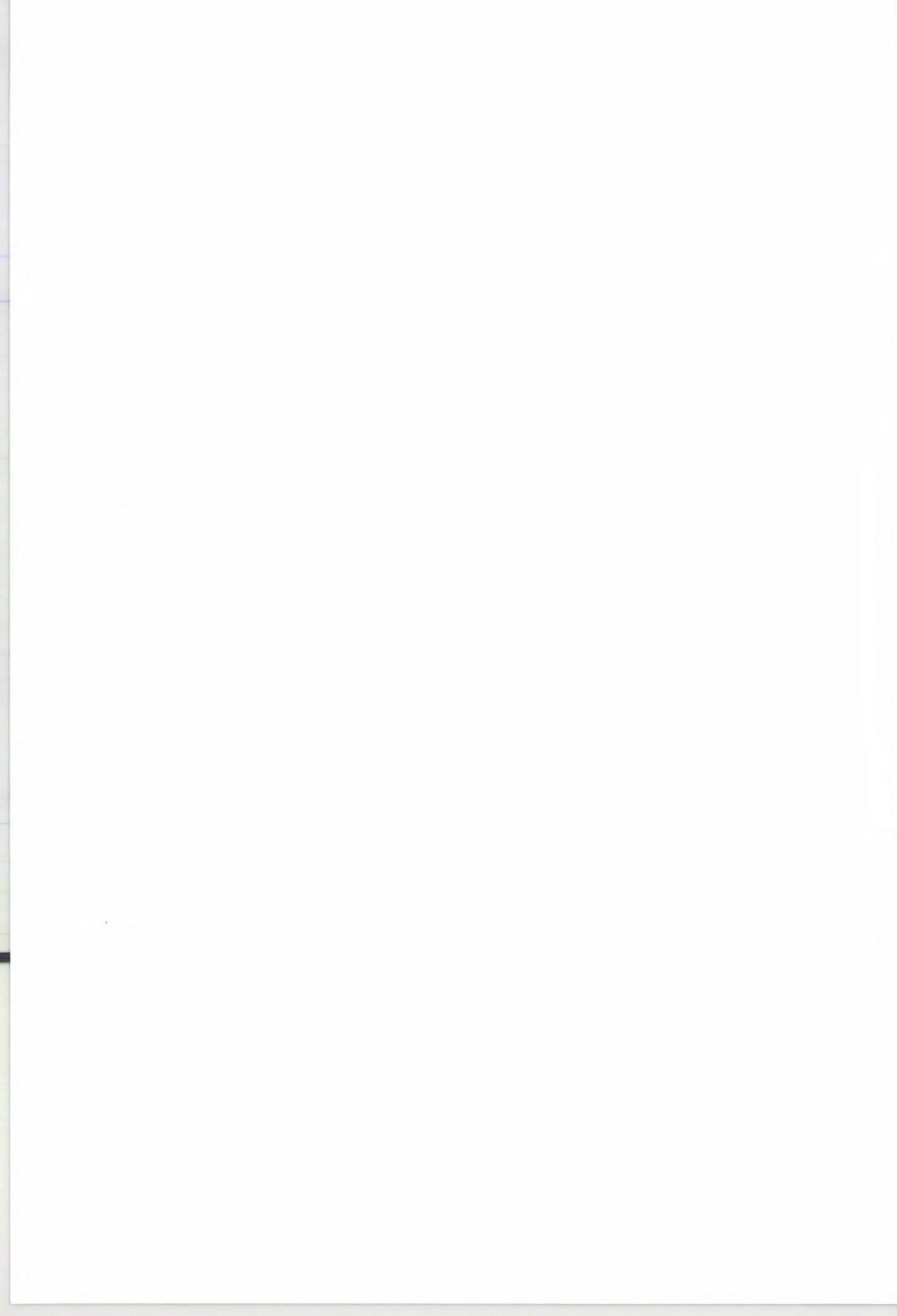
A talaj minőségének ismeretében válik lehetővé a nemzetgazdasági érdekek, a táj lakosságeltartó képességének figyelembevételével az *intenzív és extenzív mezőgazdasági termelés körzeteinek* kijelölése, az egyes területeken a megkülönböztetett támogatások és elvonások rendszerének kimunkálása. Csak ezzel válik lehetővé a mezőgazdasági termelők terheinek igazságos mérséklése és egyben a nemzetgazdaság céljainak összehangolt megvalósítása, anélkül, hogy a környezet terhelése veszélyeztetné a társadalom egészségét és jó közérzetét.

Összefoglalás

Napjainkban a termőföld minőségének jelentősége megnőtt, mert:

- A kárpótlás és a magánosítás következtében a földtulajdon területi megoszlása jelentősen megváltozott, ami nem kedvez a gazdaságos mezőgazdaság feltételeinek. Ezért mielőbb szükség van az önkéntes alapon történő, ésszerű és igazságos birtokrendezésre. Ehhez most már el kell térni a történeti okok miatt kényszerűségből használt aranykorona-rendszertől, és át kell térni egy nemzetközi összehasonlításban is korszerű és elfogadható, valamint a hazai talajviszonyainkat is figyelembe vevő talajminősítési rendszerre.
- A birtokrendezés végrehajtása során figyelemmel kell lenni a talajvédelem agrotechnikai módszereinek alkalmazását lehetővé tevő táblák és birtoktertek kialakítására. A talajvédelem mai helyzetének regisztrálása érdekében fel kell mérni a távérzékelési módszerek alkalmazásával az erózió formáját és mértékét. Ezt összevetve az 1962-ben befejezett országos talajpusztulási térkép adataival, meghatározhatók a 40 év alatt bekövetkezett eróziós károk, ezáltal kijelölhetők azok a területek, amelyeken a talajvédelem bevezetése a legsürgősebb teendő.
- Ugyancsak a távérzékelés módszereivel fel kell mérni a szél által mozgatott talajok területét, a szél megfékezését szolgáló mezővédő erdősávok és útszéli fasorok állapotát. A szél által különösen veszélyeztetett területeken támogatni kell a deflációt fékező eljárások alkalmazását.

- A belvízveszély növekedésének okait fel kell tárni, elsősorban a talajtömörödés által okozott károkat mérlegelve, és összesíteni kell a talajtömörödés megszüntetésére alkalmas növénytermesztési és talajművelési tapasztalatokat.
- Az ország tápanyagmérlegében beállt drasztikus változás által nyújtott lehetőséget ki kell használni arra, hogy értékeljük a talajok tápanyag-gazdálkodásában a csökkent műtrágya-felhasználás következményeként kialakult szélsőséges helyzetet, és biztosítsuk a kiegyensúlyozott tápanyagellátás feltételeit.
- A savanyú talajok terjedésének megállapításával, a savanyúságuk fokozásával nem tartott lépést a talajok meszezése. A támogatási rendszer megváltozása, a gazdaságok tőkeerejének csökkenése a meszezett területek jelentős csökkenését vonta maga után. Ennek következményeként a növekvő talajsavanyúság a termesztendő növények választékát csökkentette, kisebbek lettek a termések, és megnőtt a toxikus nehézfémek mozgékonyasága. Meg kell határozni azokat a műszadagokat, melyek alkalmazásával a károk megszüntethetők, és be kell vezetni azokat a gazdasági intézkedéseket, melyekkel a meszezés rangját ismét helyre lehet állítani.
- A talajok savasodását előidéző ,mezőgazdaságon kívüli és belüli hatások (légköri savas ülepedés, műtrágyázás) következményeinek területi értékeléséhez meg kell határozni a különböző talajok környezeti terhelhetőségét. Ezáltal elkülöníthetők a savasodásnak legjobban kitett területek, ahol elsősorban indokolt a megelőzés és az orvosolás érdekében szükséges teendők bevezetése.
- A talajszennyezés okozta károk elhárítására fel kell tárni a talajban lejátszódó biológiai folyamatok és a szennyezők között fennálló kölcsönhatásokat. Ehhez a talaj-mikrobiológiai ismeretek lényeges bővítése szükséges, hogy a légszennyezés, a szennyvízöntözés, a növényvédelem és a műtrágyázás során a talajba jutó anyagok kedvezőtlen hatásai mérsékelhetők, illetve megszüntethetők legyenek.
- A talaj minőségének pontos és szakszerű meghatározásával segíteni kell a termőföld árának reális alakulását, ami különösen az EU-csatlakozás idején válik aktuálissá és nemzetgazdaságilag kulcskérdéssé.
- Tovább kell finomítani az intenzív növénytermesztést és állattenyésztést szolgáló területek, valamint az extenzív gazdálkodás színterét szolgáló területek megkülönböztetését, elhatárolva a természet- és környezetvédelem által elsőbbséget élvező területektől.
- Biztosítani kell, hogy a környezet minősége ne csak a nemzeti parkok és természetvédelem alatt álló más területeken legyen megfelelő, hanem a mezőgazdaság által intenzíven vagy extenzíven hasznosított földeken is.



A növénytermesztés és a növényi termék, valamint a környezet minősége

A földművelés és a növénytermesztés 6–8 ezer éves története alatt az emberi tevékenység különböző módon és mértékben befolyásolta a Föld felszínének, a talaj tulajdonságának, a klíma elemeinek alakulását, a flóra és a fauna változását.

Az ember és a környezet viszonya, illetve az emberi beavatkozás hatása a természeti környezetre korszakonként nagymértékben különbözött. A környezetben a legnagyobb változást a növénytermesztés gépesítésével, a kémiai anyagok használatával, az intenzív termesztési eljárások és módok általánossá tételével idéztük elő.

A magyar mezőgazdaság, a növénytermesztés intenzív szakasza történelmi távlatokban rövid volt, de az eredménye és a következménye minden más korszakét többszörösen meghaladta. Magyarországon a fejlődő világ országaihoz hasonlóan az intenzív növénytermesztést a termékek nagymértékű növekedése, a minőségi követelmények elhanyagolása (figyelmen kívül hagyása), az ipari eredetű anyagok, gépek, eszközök és energiahordozók használatának gyorsuló növekedése jellemezte.

Ebben a gazdálkodási és termesztési rendszerben sokadrangúvá vált a természeti környezet minőségének megőrzése, a környezeti erőforrások racionális hasznosítása, aminek törvényszerű következménye a természeti környezet károsodása. Amikor ezt a megállapítást megtesszük, tegyük melléje azt is, hogy *Magyarországon az intenzív növénytermesztés környezetkárosító hatása jóval kisebb, mint a nálunk fejlettebb országokban.*

A növénytermesztés és a környezet összefüggéseinek elemzése során az utóbbi évtized főbb jellemzőitől sem tekinthetünk el.

A növénytermesztés intenzív időszakához viszonyítva ugyanis csaknem 180°-os fordulat következett be. A közgazdasági-pénzügyi nehézségek, az átalakulással törvényszerűen együtt járó zavarok, a rendezetlen tulajdon- és birtokviszonyok, a heterogén birtokméret, a gépek és eszközök számának, műszaki állapotának romlása, valamint a szakmai munkák színvonalának jelentős visszaesése miatt csökkent a növénytermesztés eredménye, az ipari eredetű inputok (műtrágyák) használata az 1960-as évtized szintjére zuhant.

A két időszak kedvezőtlen hatása egymásra épülve, egymást erősítve negatív folyamatokat indukált a növénytermesztésben és a környezetvédelemben egyaránt. Így ez a helyzet – az EU-integrációhoz közeledvén – a minőség többsíkú értelmezését, a tennivalók komplex kezelését követeli meg úgy, hogy közben a prioritások helyes megjelölését sem mulaszthatjuk el. A minőség komplex kezelésében legalább négy súlyponti kérdés emelhető ki, éspedig:

- a környezet (állapota) minősége,
- a biológiai alap minősége,
- a növénytermesztési technológiák minősége,
- a növényi termés, termék minősége.

A fenti sorrend azt kívánja kifejezni, hogy az azonos jelentőségű tényezők között az elsőség a környezet minőségét illeti, mert annak javítása nagyban meghatározza a biológiai alapok hasznosítását, a minőségi termesztéstechnológia fejlesztésének irányát és módját, együttes hatásuk pedig a növényi termék minőségét. A kiemelt tényezők kapcsolatában azonban nemcsak a prioritásnak van jelentősége, hanem annak is, hogy ezeknek úgy kell kapcsolódniuk egymáshoz, mint a láncszemeknek, ahol minden láncszem erős, nem cserélhető fel, és nem iktatható ki.

A *környezeti tényezők* jelenlegi minőségét jellemezve, a talajjal, a szántóföldek állapotával, valamint érintőlegesen a klímával és a vízellátással foglalkozunk.

A talajban bekövetkezett változásokat tekintve az egyoldalú használat, a művelőeszközök rossz állapota, a műveletek nagy száma miatt a talaj fizikai tulajdonsága romlott nagyobb mértékben. Az eredendően kedvezőtlen talajok mellett a jó és a közepes fizikai tulajdonságú talajok szelvényében, a művelt réteg alatt évről évre növekszik a káros réteg előfordulása és vastagsága. Romlik ezáltal a talajok vízbefogadása, hasznos vízmegtartó képessége, és nagy területeken nő a belvízvesztés, illetve a belvízképződés esélye, amely a növények majdani vízellátásában jelenthet hiányokat, azonnali feladatként pedig többlet belvízmentesítési munkákkal, költségekkel jár.

A megromlott talajállapot javítása hosszú, de nem teljesíthetetlen feladat. Teljesítéséhez a hagyományos eljárások (mint a mély, a mélyítő műveletek, talajlazítások szükség szerinti elvégzése, a vetésváltás, az organikus gazdálkodás szakszerű alkalmazása) nem elegendők. *Műszaki fejlesztési program elindítására, illetve gyorsítására van szükség.* A világ fejlett régióiban tapasztalhatjuk, hogy a talajművelés, a növénytermesztés gépesítése korszakos átalakulásban van. A régi művelőeszközök, módszerek helyébe talajkímélő (talajkonzerváló) géprendszerek lépnek. Az eke ha nem kerül is múzeumba (ahogyan egyesek azt hangoztatják), a használata visszaszorul, a hagyományos, forgatásos talajművelést egy menetben lazító és elmunkáló géprendszerek váltják fel.

Az új eljárás változatainak hazai adaptálása azonban nem lehet sablonos. Soha nem szabad figyelmen kívül hagynunk, hogy a klímánkat a csapadékhiány jel-

lemzi, következésképpen azok a géprendszerek és eljárások, amelyek a talajok vízbefogadását, vízmegőrzését nem segítik elő, nálunk nem alkalmazhatók.

Környezetvédelmi, gazdasági követelményekkel egyaránt összhangban áll a műholdas helyzetmeghatározást követő műszaki, technikai megoldások, precíziós termesztéstechnikák magyarországi alkalmazása is. Erre azonban fel kell készülni, az alkalmazás praktikus és szakmai feltételeinek megteremtését pedig fel kell gyorsítani, amihez a tudománynak is hozzá kell járulnia.

Talajtulajdonsághoz kötődő környezeti faktor a *szántóföldek állapota*, amely a termesztéstechnológia szakmai színvonalának romlását követve nagy területen egyre elszomorítóbb képet mutat. A szántóföldek elgyomosodtak, a kártevők, a kórokozók megszorodtak. A birtokméret elaprózódása, területi szétszórtsága megnövelte a fertőző gócok számát, és folyamatosan veszélyezteti a szomszédos területeket.

A kedvezőtlen helyzet megváltoztatása alapvető követelménye a minőség javításának. Gyors változásra mégsem számíthatunk, mert a termőhely megromlott állapotának helyreállítása idő-, művelet- és költségigényes, s ennek pénzügyi háttere nem vagy nehezen teremthető meg.

A szakmai színvonal növelése és korszerű, a birtokméretekhez igazodó gépark megteremtése, a szolgáltatás körének bővítése, szervezetségének javítása nélkül pedig nem számolhatunk biztonságos előrehaladásra. A prioritások között éppen ezért az ezzel kapcsolatos feladatokat a legfontosabbak közé szükséges sorolni és mindaddig ott tartani, amíg az 1970-es évtizedhez hasonló átütő műszaki fejlesztést a megváltozott körülmények között el nem érjük.

A talaj kémiai tulajdonságváltozásának legsúlyosabb következménye a *savanyodás*, amely esetenként az érzékeny növényfajok termesztetőségét kérdőjelezi meg, általánosságban pedig lassítja, illetve fékezi az ásványi elemek feltáródását, felvethetőségét, csökkenti a talajok tápanyag-szolgáltató képességét. A *növények tápanyagellátása romlott* ezen túl azért is, mert az elmúlt évtized trágyázási gyakorlatának következményeként a talajok tápanyagmérlege hiányba került. A hiány országos viszonylatban hektárra vetítve ma már 30–40 kg-ra tehető, ami a kedvezőtlen adottságú területeken, talajokon jóval nagyobb, máshol kisebb.

A kísérletek eredményei és a gyakorlati tapasztalatok (országosan és nemzetközileg) egyértelműen igazolják, hogy tápanyaghiány mellett minőségi igényt kielégítő növényi termést, terméket előállítani nem lehet. A tápanyaghiány megszüntetése ennél fogva sürgető feladat, eszköze, megoldási módja pedig a talaj tulajdonságát, adottságát figyelembe vevő, a növény igényeihez igazodó sablonokat mellőző szervesanyag-gazdálkodáshoz szervesen kapcsolódó műtrágyázás lehet.

A jelentőségének megfelelő helyen kell foglalkozni továbbá a *mésztrágyázással*. Államilag kellene támogatni az évről évre keletkező mésziszapok és egyéb

Ca-készletek elszállítását, hasznosítását azokon a talajokon és növényeknél, ahol a hatás és a szükséglet a legnagyobb.

Kis területéhez viszonyítva az ország nagyon változatos agroökológiai feltételekkel rendelkezik. Ezeket a *termőhely-specifikus technológiák* kidolgozása, alkalmazása során figyelembe kell venni. Ki kell elégíteni továbbá a technológiáknak a környezetvédelmi követelményeket mind a környezetileg stabil, mind a szenzibilis területeken.

A termőhelyhez igazodó komplex technológiai modellek lehetőséget nyújtanak arra, hogy szakítsunk azzal a mechanikus megközelítési móddal, mely szerint minden intenzív, kémiai anyagokat is alkalmazó technológia környezetkárosító, az extenzív technológia pedig feltétlenül környezetvédő.

Bármely intenzitási technológiai modellnél érvényesíteni lehet és kell a termesztéstechnológia három alappilléreinek, nevezetesen a biológiai alapok, az agroökológiai feltételek és az agrotechnikai elemek interaktív egységét. Ha ezeket szakszerűen, egymáshoz szervesen kapcsolódóan tudjuk technológiai rendszerbe foglalni és teljesíteni, úgy a növénytermesztés és a környezetvédelem minőségileg új dimenziót nyer.

A növényi termés és termék minőségének javítása a jelenben és a jövőben alapvető követelmény, hiszen minőségi standardok teljesítése nélkül elképzelhetetlen a termékek piaci értékesítése. Az általános érvényű kritérium hangoztatása, megfogalmazása azonban nem elegendő. Az általánosságok helyett az igazi kérdés az, hogy a nagyszámú tényező és azok hatásai között növényfajonként a biológiai alapok hasznosításával, termőhelyenként, technológiai változatokként melyiknek van meghatározó, a tényezők pozitív kölcsönhatását kiváltó szerepe adott, illetve a növénytermesztés további fejlődésének egy-egy szakaszában.

A növénytermesztés mai helyzetében a legtöbb szántóföldi növénynél – fajonként, fajtánként differenciált módon, a termőhely és az évjárat módosító hatása mellett – a termés-, illetve a termékminőség legmarkánsabb formálója a termesztéstechnológia, illetve az ott elkövetett hiba.

A minőséget befolyásoló *tényezők értékelését néhány növényfajra konkrétan kiterjesztve* az alábbi megállapítások tehetők:

A szélsőségesen súlyos hibák esetét nem számolva, amelyek teljesen eltorzítják az eredményt (mivel más tényezők hatása eliminálódik), minőségi értékenként is módosul a helyzet.

A búza példájával vizsgálva a kérdéskört, a kísérletek, a vállalatok mérési eredményeinek többéves értékelése alapján a *nedvessikér-tartalom* elsősorban a termesztéstechnológiától, azon belül is a tápanyagellátástól és a növény-egészségügyi körülményektől függ. A ható tényezők között második helyen a fajta, harmadik helyen az évjárat, negyedik helyen a termelési körzet (termőhely) hatása áll.

A süítőipari értékszám elemzése az előzőtől eltérően értékelhető. Legnagyobb mértékű a fajta, majd az évjárat hatása, és kisebb a szerepe a termesztéstechnológiának, valamint a termőhelynek. A Hagberg-féle esésszám változása pedig nagyrészt az érés és a betakarítás idején uralkodó időjárástól és a fajták módosító hatásától függ.

Az előzőekben tett megállapítások mellett hangsúlyozni szükséges, hogy a minőség hordozója, meghatározója a genetikai alap. Ennek kapcsán leszögezhetjük, hogy már most, a jövőben pedig még nagyobb számban rendelkezünk jó, vagy javító minőségre képes búzafajtákkal. A minőségi búzatermesztés eredménye ennél fogva a termesztési körülmények javulásától és a gépesítés, főként a betakarítógép kapacitásának bővülésétől, műszaki állapotának javításától függ, amint az a minőségi paraméterek összefoglaló értékeléséből kitűnik. Ebből adódóan a növénytermesztés helyzetének stabilizálódása után a búza minősége 70%-ban az emberi beavatkozás szakszerűségétől (termesztéstechnológia, fajta-megválasztás), 30%-ban pedig a természeti tényezőktől függ.

A napraforgó olajtartalmát elsősorban a termőhely ökológiai adottsága, klimatikus és talajviszonyai határozzák meg. Módosító tényező a termesztési körülmény és a fajták betegségekkel szembeni érzékenysége. Nem kedvez a napraforgó minőségének a csapadékos-meleg, a csapadékos-hűvös időjárás, illetve az ilyen adottságú termőhely. A betegség hajlamot növeli a szerves anyagban gazdag, nagy N-szorgáltatású talaj.

A termesztéstechnológia elemei közül kiemelés érdemel a vetésváltás követelménye, az állománysűrűség mérséklése. Alapvető igény a preventív védekezés a járványos megbetegedést okozó gombák ellen, a N-hiány és -bőség elkerülése, a P-, K-igény kielégítése, amelyek közvetlen vagy közvetett módon az olajtartalmat, az olajhozamot jelentős mértékben befolyásolják.

A minőségi cukorrépa-termesztés folyamatos műszaki fejlesztést, szakszerű termesztéstechnológiát, jó termőhely-megválasztást igényel, amelynek gyenge láncszeme nem lehet. Ebből adódik, hogy a termesztéstechnológia, az évjárat és a termőhely hatása, valamint a fajtahatás azonos.

A Kárpát-medence klimatikus viszonyai elősegítik a cercospóra-megbetegedést, egyben a rizómánia-fellépés is növekvő veszélyt jelent. Mindezek figyelembevételével a toleráns, illetve rezisztens fajták számának növelése mellett a minőségi alapanyag megtermelésének kulcskérdései az egészséges lomb megtartásában, a lombvédelemben, a vízigény kielégítésében, az igényt meghaladó N-ellátás elkerülésében, a térben és időben egyöntetű növényállomány megteremtésében, illetve az ezeket szolgáló műveletek szakszerű, preventív kivitelezésében jelölhető meg.

A cukorrépa a szántóföldi növényeknél igényesebb a termőhely talajadottságára, klimatikus viszonyaira. A csökkenő termőterület, a gazdaságok eltérő műszaki felkészültsége lehetővé, egyben szükségessé teszi a cukorrépa-termesztés területi átrendezését.

Versenyképes kertészeti ágazatok fejlesztési koncepciójának alapjai

A „Magyarország az ezredfordulón – Stratégiai kutatások a Magyar Tudományos Akadémián” kutatási program „Az agrárium helyzete és jövője” alprogramja keretében a kertészeti termesztés kérdéseivel foglalkozó 40 tanulmány készült. Ezek elemezték a főbb kertészeti ágazatok, így a zöldségtermesztés, gyümölcsstermesztés, szőlőtermesztés és borászat, a dísznövénytermesztés és zöldfelület-gazdálkodás, valamint a gyógynövénytermesztés helyzetét. A 67 tudós és kiváló gyakorlati szakember által készített írások feltárták a hazai kertészeti termesztés fejlesztésének és versenyképessége növelésének lehetőségeit az ezredfordulón a várható európai uniós csatlakozással összefüggésben.

A kertészeti témacsoportban készített tanulmányok eddig két önálló kiadványban jelentek meg az MTA Agrártudományok Osztályának gondozásában. 1998-ban *A szőlőtermesztés helyzete és kilátásai* és 1999-ben *A versenyképes kertészeti ágazatok fejlesztési koncepciójának alapjai* címűekben adtuk közre a kiemelkedő értékű elemzéseket. A tanulmányok anyagából 28 magyar és angol nyelvű publikáció jelent meg szakfolyóiratokban, 33 rádió- és 17 televízióriport készült. A kutatás kétévi időtartama alatt 20 országos tanácskozást és tájrendezvényt tartottunk, összesen 2870 résztvevővel.

A kertészeti termesztés sajátosságai és nemzetgazdasági szerepe

Magyarország kedvező természeti adottságai és agrártradíciói alapján világ- és európai összehasonlításban egyaránt jelentős kertészeti potenciállal rendelkezik. A nagy termelési értéket előállító és fokozottan munkaigényes belterjes kertészeti ágazatok nemzetgazdasági szerepe az EU-integráció során felértékelődik. A kertészet sokoldalúsága nemcsak a hazai természeti adottságok kihasználása szempontjából jelent előnyt, hanem a piaci lehetőségekhez való alkalmazkodóképessége révén versenyképesebbé is teheti a termesztést. A piac speciális igényeinek kielégítésére és a jelentkező piaci rések kihasználására a széles termékkörű kertészeti termesztés a legalkalmasabb.

A magyar kertészeti termelés a megfelelő feltételek megteremtésével kedvező kilátásokkal csatlakozhat az egységes európai piacokhoz. Hazánk kertészeti termelése viszonylag szerény részarányt képvisel az EU-országok termelési volumenéhez képest, ezért az EU-átlagnál magasabb minőségű kertészeti termékekkel jó esélyünk lehet a világ legnagyobb piaca által kínált lehetőségek kihasználására. Ezen termékek piacán a közös EU-agrárpolitika kevésbé korlátozó jellegű.

A kertészet a magyar agrártermelés nélkülözhetetlen ágazata, mert a hazai agroökológiai potenciál csak sokoldalú művelésével használható ki. A nagyobb hozzáadott értéket előállító élőmunka-igényes kertészeti ágazatok nemzetgazdasági jelentőségének növekedése várható az ezredfordulót követő évtizedekben is. Ugyanez a tendencia érvényesül a hozzánk hasonló adottságú EU-országokban is. Az élőmunka-igényesség hosszú távon megmarad a kertészeti termelésben, mert ezek a kultúrák magas fokú szaktudáson alapuló gondozást, fitotechnikát igényelnek.

A kertészeti termelésben az ökológiai tényezők meghatározó szerepet játszanak, mert a nagy értékű kertészeti kultúrák termékbiztonsága és az előállított termékek minősége egyértelműen termőhelyfüggő. A kertészeti termelési körzetek többsége hazánkban kedvező ökológiai adottságok között alakult ki. Ezeknek a tradicionális kertészeti tájtermelési körzeteknek a fenntartására és fejlesztésére a jövőben a vidékfejlesztés keretében még nagyobb figyelmet kell fordítani, mert a hátrányos helyzetű körzetek lakossága megélhetésének vagy kiegészítőjövedelem-szerzésének mással nem pótolható forrása a kertészeti termelés. Különösen a hátrányos helyzetű észak- és kelet-magyarországi, a Duna-Tisza közeli, valamint a kevésbé termékeny talajú dunántúli térségek felzárkóztatásában és a foglalkoztatási gondok enyhítésében a kertészeti ágazatoknak kiemelkedő szerepük lesz a jövőben is.

A kertészeti termelés fenntartása létkérdés több százezer embernek hazánkban, mert biztosítja vagy kiegészíti a megélhetéséhez szükséges jövedelmet. A kertészeti termelés a szántóföldi növénytermeléshez viszonyítva tízszer, hússzor, de akár ötvenszer nagyobb bruttó termelési értéket állíthat elő terület-egységenként.

Kertészeti termékekből a biztonságos hazai ellátás mellett jelentős mennyiség exportálható a jövőben is. Importra csak a hazánkban nem termeszthető kertészeti termékekből és választékbővítés szempontjából lesz szükség. A kertészeti termékek forgalmában továbbra is a hazai piac jelenti a legbiztosabb hátteret. A belső piac minőségi követelményei a következő években fokozatosan közelednek az exportminőség előírásaihoz.

A kertészet nemzetgazdasági szerepe az életszínvonal fejlődésével párhuzamosan nő, mert a kertészet az élet minőségével is szoros kapcsolatban áll. A kiváló minőségű friss és feldolgozott kertészeti termékek növekvő fogyasztása az

egészséges táplálkozás elengedhetetlen követelménye. Az emberi környezet alakításában, szebbé tételében, a környezetvédelemben és a természetbarát emberi életmód feltételeinek megteremtésében a kertészetnek kiemelkedő a jelentősége.

A kertészeti termesztes helyzetértékelése és fejlesztési lehetőségei

A kertészet a hazai összes termőterület 5-6%-án a növénytermelés bruttó termelési értékének 35-40%-át produkálja. Ehhez járul még a kertészeti termékek felhasználásával előállított élelmiszer-ipari termelés értéke. A kertészet belterjes, nagy árutömeg kibocsátására képes és kezdettől fogva piacorientált ágazat.

A magyar kertészetre a rendszerváltozásig nagy arányú extenzív fejlődés volt jellemző, amelyet elősegített az alacsony minőségi követelményeket támasztó, nagy felvevőképességű piac. Az elmaradott műszaki színvonalú kertészeti termesztest felkészületlenül érte a keleti piacok fizetőképességének drámai csökkenése, majd összeomlása. A kertészeti ágazatokban értékesítési válság mutatkozott az 1980-as évek elejétől, amely válság a zöldség- és gyümölcstermesztésben számos kultúránál még ma is tart. Valamivel kedvezőbb a termesztes jövedelmezősége a szőlőtermesztesben és borászatban, valamint a gyógy- és dísznövénytermesztesben. A több százezer kertészeti termelő többségében kiszolgáltatott szereplője a piaci viszonyoknak, mert szervezetlenül jelenik meg termékeivel a piacon. Hazánkban a kertészeti termékek többségénél még nem alakultak ki az ellenőrzött, nagybani értékesítés feltételei. A termelők közös anyagi érdekeltségén alapuló összefogás az értékesítésben és a beszerzésben, valamint a szaktanácsadásban a hazai kertészet egyik kulcskérdése.

A kertészeti termesztes üzemi struktúrája nagyon elaprózódott, számottevően nőtt a kis- és közepes családi gazdaságok aránya. Jelenleg már érezhetően el kezdődött a kertészeti gazdaságok differenciálódása. *A kertészeti termesztes területén a családi vállalkozás lesz a jövőben is meghatározó gazdálkodási forma*, amely a vidék lakosságmegtartó képességének egyik EU-konform módszere. A kertészeti ágazatokban a versenyképes üzemi struktúra megteremtéséhez várhatóan az 5-15 hektár átlagos területű családi gazdaságok kialakulása kívánatos. A nyugat-európai országok tapasztalata alapján megmarad a nagyszámú, kiegészítő tevékenységként kertészeti termesztesrel foglalkozók köre, akik jövedelemkiegészítő tevékenységként folytatják ezt a munkát.

A kertészeti termesztes jelentős visszaesés ellenére is alkalmas a lakossági és feldolgozó igények kielégítésére, valamint jelentős export teljesítésére. A kertészeti ágazat export-import egyenlege nagyon kedvező, és ez várhatóan az EU-csatlakozás után is megmarad.

A zöldségtermesztes a hazai kertészet meghatározó jelentőségű ágazata, amelynek termelési szerkezet-válto és piaci alkalmazkodóképessége a legkedvezőbb a kerté-

szeti ágazatok közül. A betakarított zöldség mennyisége az 1980-as években elérte a 2 millió tonnát, ami az elmúlt években 1,5–1,6 millió tonnára esett vissza. A kézi-munka-igényes zöldségfélék termesztése jól illeszthető a kis földterülettel rendelkező gazdaságok termelési szerkezetébe. Ennek is köszönhető, hogy a kertészeti ágazatok közül legelőrehaladottabb a termelési struktúra konszolidációja. Hazánkban alakult ki Közép- és Kelet-Európa legfejlettebb, 6-7 ezer hektár területű, fólia alatti hajtatasos zöldségtermesztése. Magyarország az egy főre jutó évi 3 kg körüli gombatermessel a gombatermesztő és -exportáló országok élvonalába került.

A szabadföldi és hajtatasos zöldségtermesztés zömmel a vidékfejlesztésben is kiemelt körzetekben folyik. E régiók szabadmunkaerő-kapacitása hosszú távon is biztosítja a fejlesztéshez szükséges munkaerőt. Az EU-ban versenyképes zöldségfajták többsége a hazai ellátásban is meghatározó szerepet játszik. A hazánkban termesztett 38-40 zöldségfaj közül kiemelkedő jelentőségű a paprika, paradicsom, vöröshagyma, fejes káposzta, görögdinnye és uborka. A többi faj termesztése különleges fogyasztói és feldolgozási igényeket elégít ki, s a választékbővítés lehetőségét adja. A zöldségnövények többségének ökológiai optimuma csak az ország bizonyos térségeinek adottságai között elégíthető ki. A hagyományos tájtermesztési körzetekben a zöldségtermesztés színvonala az átlagosnál fejlettebb. Bizonyító példák erre a zöldség-hajtató körzetek, a fűszerpaprika- és hagymatermesztő tájak.

Az utóbbi két évtized alatt a kertészeti ágazatok közül a gyümölcstermesztés került a legváltásosabb helyzetbe. A 80-as évek elejétől elmaradtak az ültetvénytelepítések, s ennek következményeként kedvezőtlennek vált a gyümölcsösök korösszetétele, alany- és fajtahasználata. Az évi 1,6–1,8 millió tonna gyümölcstermés közel felére esett vissza. A legjelentősebb visszaesés az almatermesztésben következett be, pedig mennyiségileg és a gyümölcsfogyasztásban betöltött szerepe alapján a jövőben is az alma marad a meghatározó jelentőségű gyümölcsünk. A csonthéjasok közül a kedvezően értékesíthető meggy megtartotta korábbi pozícióját. A magyar málnatermesztés évtizedek óta a világ termesztésében és értékesítésében egyaránt számon tartott jelentőségű.

A hazai gyümölcstermesztés területi elhelyezkedésében hagyományosan a foglalkoztatási gondok enyhítése játszott szerepet. Az 1995–1997 közötti években Északkelet-Magyarországon termelt az összes hazai gyümölcs 44,2%-a, a Duna-Tisza közén pedig 22,4%-a. A mezőgazdasági növénytermesztésre kevésbé alkalmas termőhelyi adottságú Nógrád megyében szüretelik az összes málnatermés 20-22%-át. A tradicionális gyümölcstermesztési körzetek fenntartása és fejlesztése a jövőben is kiemelt nemzetgazdasági célkitűzés, mert e körzetekben a gyümölcstermesztés más tevékenységgel nem pótolható.

A viszonylag szerény összes gyümölcstermés ellenére a hazai gyümölcspiacot folyamatos értékesítési krízisek jellemzik. A gyümölcspiac szervezetlen, a gyü-

mölcstermesztők és az ipari feldolgozók között kölcsönös érdekeken alapuló tartós szerződéses kapcsolatok még nem alakultak ki.

A szőlőtermesztés és borászat a legradicionálisabb kertészeti ágazat hazánkban. A 130 ezer hektár szőlőterület közel háromnegyede a 22 borvidéken és bortermő helyen koncentrálódik. A két ágazat együttes kezelése termeléspolitikai és értékesítési szempontból elengedhetetlen, hiszen az utóbbi évek átlagosan 600–650 ezer tonna szőlőtermésének mintegy 90%-át borkészítésre használják. Ezt indokolja a borok szükséges eredetvédelme és minőségbiztosítása is.

Az ágazat szerepét a vidékfejlesztésben és a foglalkoztatási gondok enyhítésében alátámasztja, hogy 430 település határában több mint 100 ezer család foglalkozik szőlőtermesztéssel és borászattal. Az évi 3,6–4,2 millió hektoliteres bortermelésünkben 1 millió hektolitert valamelyest meghaladó az exportált bor mennyisége, évi 100–130 millió USD értékben. A hazai borfogyasztás biztonságos kielégítése mellett az ágazat gazdaságosságát az exportértékesítés határozza meg. Az 1992. évi mélypont után a szőlőalapú termékek exportja megkétszereződött. Az utóbbi évtizedben a magyar borok minősége határozottan javult, ennek bizonyítéka, hogy a szőlőalapú termékek 40%-a az EU-országokban értékesül.

A hazai szőlőtermesztés és borászat fejlődésének elsődleges gátja az előregedett és kedvezőtlen fajta-összetételű ültetvénybázis. Becslések szerint a nyílvántartott ültetvényterület 30-40%-a gazdaságosan nem tartható fenn, felújítása sürgető feladat. A szőlőültetvények létesítéséhez szükséges szaporítóanyag-termelés jelenleg nem biztosítható. A III. szőlőrekonstrukció során az EU-csatlakozás utáni várható piaci helyzetből kiindulva kell a feladatokat meghatározni, és a minőségcentrikus szőlőtermesztés meg a minőségi bortermelés feltételeinek fejlesztését kell középpontba állítani.

A környezeti kultúra fejlődésével és az életszínvonal emelkedésével párhuzamosan hazánkban és a világtendenciával megegyezően fellendülést mutat a dísznövénytermesztés és -felhasználás. A dísznövénytermesztési ágazat vezető termékei közé tartoznak a díszfaiskolák produktumai, a vágott virágok, a cserepes dísznövények, a virágnövények, az évelők, az egynyári és száraz virágok, valamint a vetőmagvak és szaporítóanyagok. A kertészeti ágazatok közül a dísznövénytermesztés területén érvényesülnek leginkább a kereslet és kínálat piaci törvényszerűségei. A dísznövénytermesztés a legbelterjesebb kertészeti ágazat. Jelentősebb dísznövénytermesztő körzetek hazánkban is a felvevőpiacok vonzáskörzetében alakultak ki. A magyar dísznövénytermesztés az igények jelentős részét képes hazai termékkel kielégíteni, de a dísznövények importja várhatóan a későbbiekben is jelentős lesz, mert a vásárlóközönség igényli a virágújdonságokat és a nagy választékot. A dísznövénytermesztéssel hasznosított terület viszonylag csekély. A szabadföldi dísznövénykultúrák (díszfák, díszcserjék, hagymások, évelők, száraz virágok) hazánkban gazdaságosan állíthatók elő, de a

fólia és üveg alatt végzett vágott- és cserepesdísznövény-termesztés gazdaságossága bizonytalan.

A hazánk ökológiai adottságai között termesztett és begyűjtött *gyógy- és illóolajos növények*, illetve a belőlük előállított termékek minőségük alapján világhírnévre tettek szert. A Magyarországon előállított gyógy- és illóolajos termékek hagyományosan hungaricumként jelennek meg az exportpiacokon. Gyógynövénytermesztésünk jövedelmező és egyértelműen perspektivikus kertészeti ágazat.

A hazai fogyasztási igények növekedésével párhuzamosan a gyógynövénytermesztési ágazat továbbra is erőteljesen exportorientált marad. Az ágazat évi bruttó deviza-árbevétele 35 millió USD. A 35-40 ezer tonna évente előállított drogmennyiségből 25-30 ezer tonna a termesztett, a többi a begyűjtött drog. A jövőben várható, hogy a gyógy- és illóolajos növények tradicionális felhasználási területei mellett egyre szélesebb körűvé válik a fitomedicinának dinamikusán bővülő termékcsoportjának alkalmazása. Az élelmiszer- és kozmetikai iparban a természetes eredetű adalékanyagok és illóolajok fokozott felhasználása világértrendia.

Javaslatok a kertészeti termesztés versenyképességének növelése érdekében szükséges intézkedésekre

A hazai kertészeti ágazat fejlesztésére vonatkozó javaslatok összeállításánál részben a kertészeti termesztés jelenlegi helyzetének elemzéséből, részben a nemzetközi trendek és az EU-csatlakozás várható hatásainak figyelembevételéből indulunk ki.

1. A kertészet prognosztizálhatóan a magyar agrárgazdaság stratégiai ágazata marad az EU-csatlakozás után is, mert intenzív és belterjes fejlődés lehetőségét kínálja. Amennyiben a magyar mezőgazdaság fejlesztése nem ezt az utat választaná, úgy az egész vidékek mezőgazdaságának elszorítását eredményezné, a vele járó társadalmi és környezetvédelmi problémákkal együtt. Ezért az agrárprioritások meghatározásánál a munkai igényes és nagy hozzáadott értéket előállító kertészeti ágazatok fejlesztését a várható EU-integráció függvényében is kiemelt célkitűzésként kell szerepeltetni. A fejlődés feltételeinek megteremtése esetén a magyar kertészet az EU-csatlakozás egyik nyertese lehet a hazai agráriumban.
2. A hazai kertészeti termesztésnek semmi mással nem helyettesíthető szerepe van a vidékfejlesztésben és a hátrányos helyzetű térségek foglalkoztatási gondjainak enyhítésében. A kertészetet a vidéki munkanélküliség enyhítésének hosszú távú lehetőségeként kell kezelni hazánkban, úgy, mint az Európai Unióban. Az észak- és kelet-magyarországi, valamint az alföldi hátrányos helyzetű térségek felzárkóztatásában és a mezőgazdasági növénytermesztésre kevésbé alkalmas talajok kihasználásában a kertésze-

ti kultúrák kiemelkedő jelentőségűek. A szőlészet és borászat, a gyümölcs- és zöldségtermesztés a vidékfejlesztésben tradicionális és perspektivikus szerepet képvisel.

A kertészeti tájtermesztési körzetek a vidékfejlesztésnek a jövőben is bázisai lesznek. A kertészeti beruházások és egyéb fejlesztések állami támogatásánál a hátrányos helyzetű tájtermesztési körzetek kapjanak előnyösebb besorolást!

3. A kertészeti ágazatok termesztésének korszerűsítése, felzárkóztatása az EU-csatlakozás követelményeihez nagy beruházási ráfordításokat igényel. Döntően a családokra épülő kertészeti vállalkozások ma még nem képesek önerőre alapozva finanszírozni a termelés korszerűsítését, ezért az EU-csatlakozásig beruházási, gépvásárlási és egyéb támogatásra feltétlenül szükségük van.
4. A kertészeti termesztés üzemi struktúrája a rendszerváltozást követően elaprózódott, számottevően nőtt a kis- és közepes családi vállalkozások száma. A kertészeti ágazatokban ösztönözni és támogatni szükséges a birtokszerkezet koncentrációját, hogy növekedjék a bővített újratermelésre képes árutermelő gazdaságok aránya.
5. Bár az EU-országok gyakorlatához hasonlóan a családi vállalkozások válnak a hazai kertészet uralkodó üzemi formájává, hosszú távon mégis jelentős részarányt fognak képviselni a kertészeti termesztésben a részmunkaidős kisgazdaságok. Becslések szerint a hazai lakosság 20-25%-a a következő évtizedekben is részben önellátó lesz a kertészeti termékekből.
6. A hazai kertészeti termesztés területén az EU-integrációra való felkészülésben nem a termesztési feladatok a kritikusak, hanem a piacra jutás és a piacon maradás feltételeinek megteremtése. A családi vállalkozások és részfoglalkozású kisgazdaságok számára jövedelmező termesztés csak az általuk létrehozott értékesítő és beszerző szervezetek segítségével lehetséges. A biztonságos értékesítéshez költséges infrastruktúra kiépítése és üzemeltetése, valamint megbízható piaci információs rendszer működtetése szükséges. A nagyobb termelői önszervezettség az alapja a termelési folyamatok minőség-ellenőrzésének, a korszerű árufeldolgozásnak, -raktározásnak és -csomagolásnak, valamint a szállítások folyamatosságának és megbízhatóságának. A termelőknek kertészeti termékek piacain aktív szereplőkké kell válniuk.

A kertészeti ágazatok alkalmazkodási és versenyképessége növelésének egyik követelménye az EU-konform piacszabályozási és a nagybani piaci rendszer kiépítése hazánkban.

7. A kertészet a családi gazdaságokra alapozott fejlődési tendenciája alapján igényli az állami finanszírozású tájtermesztési kutatási intézményhálózat

fenntartását. A nyugat-európai országok gyakorlatának megfelelően a kertészeti kutatóintézetek működése nagyrészt állami és részben regionális támogatással és több évre szóló kutatási megrendelésekkel tarthatók fenn. A kertészeti kutatóintézményeknek, beleértve az egyetemeket is, a jövőben a kertészeti ágazat szaktanácsadási feladatainak megoldásában is kiemelt feladatuk lesz.

Ma is hiányzik a kertészeti ágazat hosszabb távú tárcaszintű kutatási programja, illetve annak koordinálása. A kertészeti ágazatok kutatási-fejlesztési feladatainak prioritását újra szükséges meghatározni, mert ennek hiányában nem biztosítható a kutatási feladatok megfelelő rangsorolása. Az elmúlt években a „Biológiai alapok” keretében javultak a hazai fajtakutatás és a törzsanyagok fenntartásának lehetőségei.

A hazai kertészeti ágazatokban a termesztéstechnológiai és -adaptációs kutatások egy évtizede megtorpantak, és csak az 1999. évi FVM-pályázatok során kerültek előtérbe, pedig a technológiafejlesztési kutatások a kertészeti ágazatok szempontjából stratégiai jelentőségűek. Az ökológiai alkalmasság vizsgálata a kertészeti kultúráknál tartamjellegű kutatásokat feltételez, amelyek csak több évre szóló kutatási-fejlesztési megbízások keretében végezhetők. A fejlesztő kutatások kiemelt feladata már ma is a vegyszerek csökkentett felhasználását eredményező, az integrált kertészeti technológiát megalapozó módszerek kifejlesztése.

8. A kertészeti termesztés sajátosságai és a következő évtizedekben várható üzemi struktúrája miatt feltétlenül újjá kell szervezni a kertészeti szaktanácsadás országos hálózatát. A kertészeti szaktanácsadási rendszer a kutatási intézmények, egyetemek és szakiskolák szakmai hátterére alapozódhat a jövőben. A több százezer kertészeti termelő továbbképzése és folyamatos szaktanácsadásban részesítése szakmai, fogyasztói és környezetvédelmi szempontból egyaránt fontos nemzetgazdasági érdek.
9. Az EU-ban növekszik az igény az egészséges táplálkozást biztosító, kiváló minőségű, káros anyagoktól mentes, a termőtájhoz és a különleges termesztési módhoz kötött termékek iránt. A kertészeti termékek versenyképességének záloga a minőségi áru termelése és forgalmazása. A kertészet számára nemcsak exportvonatkozásban, hanem a hazai értékesítésben is elengedhetetlen lesz az EU minőségi követelményeinek betartása.

A következő évtizedben a fogyasztók fokozottan igényelni fogják az új típusú, kiváló minőségű terméket eredményező környezetkímélő technológiával ellátott, egészséges kertészeti árut. Az *integrált termesztés* folyamatának végeredménye a hitelesen egészségesnek nyilvánított és márkavédjeggyel ellátott termék. Az integrált termesztési mód az eddigieknél magasabb szintű, korszerű szakmai ismeretek elsajátítását igényli.

Az integrált termesztés fejlesztése és alkalmazása a kertészeti ágazatokban nemzetgazdasági érdek, ezért bevezetésének állami ösztönzése szükséges.

10. Az EU-országokban a kertészeti termesztés lehetőségeinek bővítését jelenti a bio- vagy organikus termékek bővülő piaca. A természetes anyagok felhasználásával és az ökológiai adottságok kihasználásával folytatott *biotermesztés* számos kertészeti növényfaj termesztését teszi lehetővé, viszonylag mérsékelt ráfordítással. A biotermesztés a jövő egyik kitörési pontja lehet a hazai kertészeti ágazat részére, mert e termékek iránt egyre fokozódó fizetőképes kereslet mutatkozik a világpiacon.
11. A *zöldségtermesztés* a hazai ökológiai adottságokra és az ágazat mobilitási képességére alapozva az ezredforduló után is a legjelentősebb kertészeti tevékenység marad. Magyarországnak kedvező esélyei vannak arra, hogy a versenyképesen termelhető zöldségfélékkel kihasználja az EU egységes piaca által kínált lehetőségeket. Újabb zöldségtermesztő körzetek kialakításának ösztönzése nem indokolt.

A várható EU-integráció és a piaci trendek figyelembevételével a hazai zöldségtermesztésben a következő kultúrák termesztésére és fejlesztésére kell kiemelt figyelmet fordítani: étkezési és fűszerpaprika, görögdinnye, gomba, csemegekukorica, konzervuborka, vöröshagyma, fokhagyma, spárga és torma.

A hazai felhasználási igényeket és az exportlehetőségeket mintegy 100 ezer hektár szabadföldi zöldségtermő területen és 10-15 ezer hektár fóliával takart felületen biztonsággal ki lehet elégíteni. A frisszöldség-fogyasztás igénye 1,0–1,2 millió tonna termésmennyiséggel fedezhető. A friss zöldségexport várhatóan 150–200 tonna lesz. A feldolgozóipar alapanyag-igénye körülbelül 400–600 ezer tonna. A következő évtized végére a gombatermesztés volumene a 100 ezer tonnát is meghaladhatja a jelenlegi 30 ezer tonnás termésmennyiséggel szemben.

12. A *hazai gyümölcstermesztés* az EU-integrációt követően is megmarad élőmunka-igényes ágazatnak, mert a betakarítás néhány gyümölcsfaj kivételével a következő évtizedben is főleg kézimunkára alapozódik. A gyümölcspiacon a friss, asztali gyümölcsként értékesített áru a legjövedelmezőbb. Az ipari alapanyag termelése a csonthéjasok és a bogyósok néhány fájának kivételével kevésbé gazdaságos.

Meg kell tartani a tradicionális kialakult és a jelenlegi vidékfejlesztési terveknek megfelelő gyümölcstermesztési körzeteket. Az EU-csatlakozás előkészítése igényli a gyümölcstermesztési ágazat termőalapjainak gyorsított ütemű megújítását. Ehhez évente 3500–4000 hektár új ültetvény létesítése szükséges korszerű művelési rendszerrel és fajtahasználattal, valamint az öntözhetőség biztosításával. A terméshozamok növelésével a jelenlegi ösz-

szes gyümölcstermő terület a következő évtized végére 20–25%-kal is csökkenhet.

A következő évtized végére 1,0–1,3 millió tonna összes gyümölcstermés prognosztizálható az alábbi megoszlásban (1000 t):

alma	600–700	szamóca	15–20
körte	40–60	málna	20–25
meggy	80–110	ribiszke	15–20
cseresznye	25–30	köszméte	6–10
szilva	120–150	bodza	5–10
kajszi	40–60	héjasok	5–10
őszibarack	50–70	egyéb	5–10

13. A szőlőtermesztés és borászat a borvidékeken és a bortermő helyek többségében az ezredforduló után is meghatározó gazdasági jelentőségű kertészeti ágazat marad. Valószínűsíthetően a kertgazdaság az ágazatai közül a leggyorsabban lesz képes alkalmazkodni az EU minőségi követelményeire.

A magyar szőlőtermesztés és borászat versenyképessége a várható EU-csatlakozás függvényében kizárólag csak minőségi fejlesztésekkel tartható fenn. A világ borpiacain erős verseny alakult ki, amelyben részt venni csak minőségi termékekkel, márkázott, származás- és eredetvédett borokkal lehetséges.

A hazai szőlőtermesztési ágazat termőalapjai előregedettek és jelentős részben leromlottak. Az árutermelő ültetvények többségét az 1960-as és 1970-es években telepítették. Az 1991 és 1998 közötti években állami támogatással mindössze 2000 hektár szőlőültetvényt létesítettek. Mivel Magyarország természeti adottságai a minőségi bortermelésre kiválóan alkalmasak, ezért kiemelt nemzetgazdasági érdek az EU-csatlakozás utáni versenyképes minőségi bortermelés szőlőtermesztési bázisának megalkotása. A minőségcentrikus szőlőtermesztés és borászat fejlesztésének kulcskérdése a magyar szőlészet III. rekonstrukciójának sürgős megkezdése, a szőlőtermő terület gyorsított ütemű felújítása. Az egészséges ültetvényrotáció biztosítása érdekében évi 3–5 ezer hektárnyi szőlőtelepítésre lesz szükség a következő évtizedben. Ehhez elengedhetetlen mintegy 300 hektár alany- és 1000 hektár nemes fajta törzsültetvény államilag garantált fenntartása. Az ágazat jelenleg ennek csak harmadával rendelkezik, tehát a következő években jelentős hiány prognosztizálható jó minőségű és certifikált szaporítóanyagból. A szőlőkaszter I. osztályába sorolt termőhelyeken indokolt a szőlőtelepítés kiemelt állami támogatása.

Az ezredfordulót követő évtizedben az évi 4–5 millió hektoliter bortermelésből várhatóan 3,0–3,5 millió hektólitert tesz ki a hazai borfogyasztás.

Az elmúlt évek növekvő tendenciáját figyelembe véve a borexport 1,0–1,5 hektoliter körül alakul.

A III. szőlőrekonstrukció során jelentős fajtaváltásra van szükség. A világ borpiacain való versenyképességünk javítása céljából a következő évtizedben a szőlőtelepítésekben az ún. világfajták részesedése 50%-nál nagyobb arányt kell, hogy képviseljen. A vörösbort iránti kereslet tartós növekedése miatt a jelenlegi 20%-os részarány jelentős növelése javasolható.

A minőségi bortermelés feltételeinek javítása érdekében szükséges a borászat technológiai fejlesztésének pályázatos támogatása.

Az eredetvédelem a magyar szőlő- és bortermelés fejlesztésének, versenyképessége javításának kiemelt feladata, de egyben az EU-csatlakozásunk által igényelt tevékenység és gazdasági kényszer is. Nemzetgazdasági érdekünk az eredetgarancia- és eredettanúsítás teljes körű rendszerének kidolgozása és fokozatos bevezetése, valamint a Nemzeti Eredetvédelmi Tanács megalakítása. Széles körűvé kell tenni a korszerű ISO-szabványokon alapuló termékminőség-biztosítási rendszer alkalmazását a hazai borászatban.

A magyar szőlőtermesztés és borászat jövője szempontjából a borhamisítás és a hamisított borok forgalmának felszámolása azonnali sürgős feladat.

14. A dísznövénytermesztés a hazai kertészeti termesztés legszerteágazóbb ágazata, mert 900–1000 növényfaj termesztését foglalja magában. A magyar dísznövénytermesztés az igények jelentős részét képes hazai termékekkel kielégíteni, de az utóbbi években a belföldi virágpiacokon is erős nemzetközi konkurenciával kell szembenézni. Különösen vonatkozik ez a vágott virágok és a cserepes dísznövények piacára. Magyarország dísznövénytermesztése és -forgalmazása megfelelő közgazdasági szabályozás mellett jelentősen növelhető, a kedvezőtlenül magas importhányad csökkentése mellett.

A dísznövénytermesztéssel hasznosított terület hazánkban csekély, mintegy 1300 hektár, amelyből közel 800 hektárt tesz ki a díszfaiskolai termesztés területe. A hazai termelés színvonala ma még számos dísznövénytermesztési alágazatban elmarad a világ élvonalától, de néhány területen versenyképességünk kielégítő. Az EU-integráció után is versenyképes ágazatai maradhatnak a következő dísznövény-termesztési alágazatok termékei:

- a díszfaiskolai termesztés,
- az évelő dísznövények termesztése,
- a szárazvirág-termesztés,
- cserepes dísznövények, elsősorban virágos kultúrák termesztése,
- a virágpalánta-előállítás.

A szabadföldi dísznövénytermesztés hungaricum jellegű kultúráinál a hazai nemesítés elengedhetetlen. Az ökológiai adottságaink megkívánják

a hazai termesztéstechnológiai kutatásokra épülő termelésfejlesztést. Külön figyelmet célszerű fordítani a hazánkban védett és veszélyeztetett, díszítő értékű növényfajok termesztésbe vonására.

A dísnövény-termesztési ágazat szabályozórendszerének felülvizsgálata szükséges ahhoz, hogy a magyar termékek versenyképessége növekedjék, és részarányuk az EU-integrációt követően se csökkenjen a hazai viágfelhasználásban.

15. A hazai *gyógynövénytermesztés* az elmúlt évtizedben jelentkező termesztési és kereskedelmi problémák ellenére is alkalmas volt arra, hogy kielégítse a növekvő tendenciájú gyógynövény-felhasználás igényeit. A gyógy- és illóolajos növényekből előállított és forgalmazott drog jelentős hányada még ma is természetes állományból származik.

Az EU-országokban prognosztizált 30-40%-os gyógynövénytermelés és felhasználásnövekedés az integráció után nagy lehetőséget jelent a hazai gyógynövény-termesztési ágazatnak. Ennek alapvető feltétele az EU szigorú minőségi követelményeinek megfelelő magas feldolgozottsági fokú gyógynövénytermékek előállítása. A következő évtizedben 30-40 tradicionálisan gyűjtött gyógynövényfaj drogja állítható elő versenyképesen. A gyógynövények széles választéka lehetőséget nyújt arra, hogy a mezőgazdasági növényekkel gazdaságosan nem művelhető területeket újrahasznosítsák. A hungaricum jellegű kultúrák produkcióját jelentősen növelni lehet (pl. majoránna, bazsalikom, menta stb.). Új, értékes kultúrák termesztésbe vonása lehetséges, de ez a tevékenység folyamatos kutató- és fejlesztőmunkát igényel.

Az EU-országokban mindinkább elfogadott és magasabb piaci értékkel honorált a bio-gyógynövénytermesztés, ezért indokolt az ágazat versenyképessége növelése érdekében e tevékenység kiemelt támogatása. A fitomedicinák előállításában szerepet játszó termékek esetében a következő évtizedben 100-200%-os termelés- és piacbővülés prognosztizálható. Hosszabb távon a magasabb feldolgozottságú termékek exportjának növelése kívánatos. Az ágazat versenyképességének kritériuma lesz az EU-integráció során a GAP rendszerű minőség- és terméktanúsítási rendszer bevezetése.

Az erdő- és fagazdaság

A természeti környezet meghatározó alkotója az emberi élet minőségét kedvezően befolyásoló erdő, amely korszerű felfogásban az adott területen élő növények és állatok életközössége, ökológiai rendszer. Sokoldalú hasznának hagyományosan kiemelt szereplője az újratermelhető, környezetbarát fa, amely más erdei termékekkel (vadgyümölcsök, vadhús, gyógynövények stb.) az erdő anyagi hasznának forrása. Az ezredfordulóra az erdő nem anyagi jellegű szolgáltatásai – környezetvédelmi, jóléti rekreációs szerepe – iránt a társadalmi igények robbanásszerű gyorsasággal bővültek. A társadalmi igények robbanásszerű gyorsasággal bővültek. A társadalom érdeklődése a korábbiaknál jóval nagyobb mértékben fordult az erdőgazdálkodás, a vadászat és a fagazdaság felé. Az ágazat a 21. században nemcsak ökológiai és ökonómiai, hanem jelentős politikai tényezővé is válik, amint ennek jelei napjainkban már érzékelhetők. Ezért az erdő-, a vad-, és a fagazdaság tudományosan megalapozott fejlesztését társadalmi, gazdasági és politikai szempontból egyaránt számottevő kormányzati feladatnak is kell tekinteni. Ennek a feladatnak a jobb megoldását kívánták elősegíteni a témakörben végzett MTA-kutatások, amelyek fontosabb eredményeit és a hozzájuk kapcsolódó javaslatokat a következőkben foglaljuk össze.

Kérdések és kihívások az ezredfordulón

Társadalmi, gazdasági szempontból, de mindenekelőtt az élet fenntartása miatt az emberiség elsőrendő érdeke azoknak a kedvezőtlen folyamatoknak a megszüntetése, amelyek a Föld élővilágát károsítják. *Ezek nem kímélik a szárazföld egyharmadát borító erdőket sem.* Az erdészettudomány és a gyakorlat együtt keresi a megoldás útját és azokat a lehetőségeket, amelyek révén a legeredményesebben járulhat hozzá a nemkívánatos folyamatok megfékezéséhez és a kedvező helyzet megteremtéséhez. Mindez a megválaszolandó kérdések sorát veti fel hazai és nemzetközi viszonylatban egyaránt.

Faültetvény, őserdő vagy szabadidőpark lesz-e a jövő erdeje? Szükség van-e egyáltalán a tudományosan megalapozott erdőgazdálkodásra? Ha igen, akkor milyen legyen a jövő erdő-, fa-, és vadgazdálkodása? Ilyen és hasonló kérdések foglalkoztatják napjaink társadalmát, a kutatókat és szakértőket, amikor az állásfog-

lalások között mértéktartó és szélsőséges válaszokkal egyaránt találkozunk. Ezek egyik forrása annak a késői felismerése, hogy a természetes felszámolásával az ember folyamatosan csökkenti a Földön élő fajok számát, tevékenységével egyszerűsíti a biocönózisok szerkezetét, és elszegényíti az ökoszisztémákat. A szennyező műanyagok túlzott felhasználásával a természettől idegenné teszi az ember környezetét. A 20. század folyamán egyértelművé vált, hogy az élővilágot ért károk helyreállításában, a természetes nyersanyag termelésében és a kívánt helyzet megteremtésében *tartósan kiemelkedő szerepe lesz az erdészetnek: az erdő-, a vad-, és a fagazdaságnak.*

Az ágazat hazai helyzetét értékelve hangsúlyozni kell, hogy erdő- és vadgazdaságunk szakmai színvonala eléri és számos területen meghaladja az EU-tagállamok átlagát. A fafeldolgozás, a fahasznosítás területén viszont lemaradás mutatkozik. Magyarország területének 18,5%-át borítják erdők. A 20. század második felében az erdő- és fásított terület 600 hektárral növekedett, az élőfakészlet 150 millió m³-ről 315 m³-re, a fakitermelési lehetőség 3 millióról 9 millió m³-re, az évi fanövedék 3 millió m³-ről 11,5 millió m³-re emelkedett. A tényleges fakitermelés a lehetőségek 70%-a körül mozog, hasonlóan más európai államokhoz. Az erdőknek mintegy 10%-át érték különböző károsítások.

Az állami erdők aránya Magyarországon 69%, az EU-ban 21%. Az élőfakészlet 1 hektár erdőterületen nálunk 172 m³, az EU-ban 123 m³. Az erdőterv szerint kezelt erdők aránya nálunk 100%, az EU-ban 59%.

A természetközeli erdőgazdálkodás

Természetközeli erdők alkotják Magyarország erdeinek 56%-át. Erdőtalajainkat alapul véve, ez az arány 76% lehetne. Az erdős sztepp klímába tartozó erdeink 30%-a, a KTT-es cseres klímába tartozók 48%-a, a gyertyános-tölgyesbe tartozók 70%-a, míg a bükkös klímába tartozók 99,7%-a természetközeli erdő. Ez az arány kedvezőbb az EU-átlagnál.

A természetközeli erdőgazdálkodás irányelveit valamennyi erdőben érvényesíteni kell és lehet, bár nem azonos mértékben. Az erdőgazdálkodásnak ez a módja nem új keletű nálunk. Fő jellemzője a természeti törvényeknek megfelelő, a természet- és a környezetvédelmet kielégítő, az egész erdei ökoszisztéma érdekeit szem előtt tartó emberi beavatkozás. Eredménye a természetes állapotot az ökológiai adottságok szerint különböző mértékben megközelítő stabil erdei ökoszisztéma, a termőhelyi potenciálnak megfelelő erdőállomány-típus, a különböző természetességi fokú természetközeli erdő, amelynek a fatermő képessége, ennek megfelelően a jövedelemtermelő képessége is megfelelő.

Fontosabb tényezők közül a következőket emeljük ki, azzal a céllal, hogy ezeket a fejlesztés során az illetékesek megkülönböztetett figyelemmel kísérjék:

- Harmónia az ökológiai adottságokkal, amely elsősorban arra irányul, hogy az erdei ökoszisztéma összetétele és szerkezete feleljen meg az adott termőhelynek, törekedve az őshonos fajok által alkotott elegyes faállományok fenntartására és létrehozására, de elfogadva a nem őshonos, termőhelyálló fajokat is ott, ahol más faj telepítése nem célravezető. Ezen utóbbi esetben a természetesség foka nyilván kismértékű lehet.
- Harmónia az emberi beavatkozást jelentő erdőművelésben és erdőhasználatban, amely figyelembe veszi a biocönózis valamennyi tagjának az összhang szerinti érdekeit, és úgy törekszik a gazdasági, nevezetesen a fatermesztési és haszonvételi feladatok megvalósítására, hogy az ökoszisztéma egésze ne szenvedjen helyrehozhatatlan károkat.
- Harmónia a természetvédelmi és a gazdasági célok elérésében azért, mert a természetközeli erdőgazdálkodás egyet jelent az erdőben folyó aktív természetvédelemmel, ugyanakkor csak az erdőgazdálkodás útján valósíthatók meg erdeinkben a természet- és környezetvédelmi feladatok. Ehhez is kell igazítani az ökonómiai szabályozórendszert.
- Harmónia az ökológiai és az ökonómiai célok és feladatok között és azok megvalósításának módjában, valamint a pénzügyi támogatásban az illetékes hatósági és gazdálkodó szervek közötti egyetértéssel és az ennek megfelelő szakigazgatás működtetésével.
- Harmónia az újabb tudományos ismeretek és a gyakorlatban megfogalmazott követelmények között, továbbá az egyes szakterületek kapcsolatában és szemléletében.

Hangsúlyozni kell azt is, hogy Magyarországon a természetközeli erdőgazdálkodásnak kiterjedt hagyományai vannak. Az erdészeti kutatás is elősegítette az elmúlt évszázad folyamán a természet közelség követelményeinek a megvalósítását. Ezt a témakört a jövő kutatások során kiemelt támogatásban indokolt részesíteni.

A természetközeli erdőgazdálkodás szerves része a vadgazdálkodás

A természettel, az erdő- és a mezőgazdasággal való harmónia kell hogy jellemezze a természetközeli vadgazdálkodást is. A sokszor emlegetett összhang és egyensúly azonban számos helyen csak vágyálom maradt, mert helyenként a tudományos igazságokat egyes személyek vagy csoportok kívánságainak és igényeinek a teljesítésével cserélték fel.

A vad az erdő, a mező és a vízvilág szerves tartozéka, a természetes életközösség alkotója. Természetvédelmi, biodiverzitási és egyéb jelentőségét gazdasági és turisztikai szerepe a jövőben az eddigieknél is gyorsabban növeli. A jelen

és a jövő vadgazdálkodásának is kulcskérdése a megbomlott életközösségi egyensúly helyreállítása. A megvalósítás szakmai követelményeit illetően több kutatási eredményre alapozott javaslat készült. A módszer és a lehetőség az érdekellentétek sokaságának az útvesztőiben már nem ilyen egyértelmű. Bizakodásra okot ad a természetvédő erdészek, vadászok népes tábora. Ennek a tábornak meg kell hogy legyen az a készsége és képessége, hogy a harmóniát szolgálva a természet- és az erdővédelem szempontjait tekintse meghatározónak. A vad az erdő tartozéka, és nem megfordítva.

Törekvéseink során ügyelni kell arra is, hogy a természetközelség jól csengő hangoztatása ne lehessen a jövőben üres szólam vagy riasztólövés azok ellen, akik az integrált erdő-, mező- és vadgazdálkodási érdekeket tekintik az egyéni érdekekkel szemben elsődlegesnek.

A megoldandó kulcskérdések közül ki kell emelni az *el nem fogadható mértékű vadkárok csökkentését*. Az új tulajdonosi helyzet és a megváltozott érdekek várhatóan kedvező mederbe terelik ennek a súlyos problémának a megoldását is. Az anyagi érdekelttség ösztönzőereje itt sem tagadja meg magát. Építeni kell arra is, hogy a törvényben megfogalmazottak alapján a természetvédő erdész és vadász megteremtí a rég óhajtott harmóniát, amelyhez mindkét oldalról kölcsönösen hozzá kell járulni.

Környezetbarát fagazdaság

A természetközeli erdőgazdálkodáshoz közvetlenül, a vadgazdálkodáshoz közvetve kapcsolódik a környezetbarát fagazdaság, amely az erdő legnagyobb anyagi jellegű értékét, a környezetbarát fát dolgozza fel és teszi széles körben hasznosíthatóvá. A rendszeres erdőgazdálkodásnak századunk első feléig az elsőrendű célja a szükségleteknek megfelelő és a lehetőségeket elérő fa megtermelése és a kellő színvonalú faellátás volt. Ez a feladat a jövőben is jelentős marad. Az említetteken kívül változatlanul a *fakitermelés és -hasznosítás* teremti meg a következő évszázad folyamán is az erdőgazdálkodás ökonómiai előfeltételeinek a legnagyobb részét. A fakitermeléssel kezdődő fagazdaság szerepét környezetvédelmi szempontból is nagyra kell értékelni. Sem jelenleg, sem a jövőben nem lehet a természetközeli erdőgazdálkodást fakitermelés és a megtermelt fa hasznosítása nélkül megvalósítani. Biológiai értelemben a fakitermelés az erdei ökoszisztéma gondozását és fenntartását is jelenti, környezetvédelmi szempontból pedig olyan környezetbarát nyersanyaghoz juttatja a gazdaságot, amelynek felbecsülhetetlen előnyei vannak. Súlyos hiba ezért a fakitermeléseket csupán gazdasági célú tevékenységnek tekinteni és ellenezni, ha azok a szakmai követelményeket kielégítik. Az utóbbi, közel fél évszázados időszak folyamán sem Magyarországon, sem Európában nem érte el a fakitermelés a folyónövedék mértékét.

A műanyagok áldást és környezetszennyezést egyaránt jelentő világának számottevő részét váltják fel a következő évszázadban a természetes nyersanyagok. Ennek során az újratermelhető fa a 21. század sztárja lesz, mert köztudott, hogy:

- a levegőt szennyező szén-dioxid karbonja az ingyenes és a környezetet sem szennyező napenergia felhasználásával szénvegyületek formájában építi a fa testét;
- feldolgozásának és hasznosításának energiaigénye kisebb más nyersanyagokénál;
- energiacélú felhasználása a legkevesebb környezetterheléssel járó energia-termelő folyamat;
- a merevséget oldó fa meghitt és egészséges környezetet teremt az ember számára.

Nem valószínű, hogy a felsoroltak közül bármelyikkel ne értene egyet akár a legszigorúbb környezetvédő. Ezekhez kapcsolódik a kedvező faellátási helyzet is. Az utóbbi fél évszázad folyamán sem Európában, sem Magyarországon nem termelték ki a szakmailag indokolt famennyiséget. Jelentős élőfa-készlet akkumulálódott. A műanyaggal, vassal vagy alumíniummal való fahelyettesítés ideje elmúlt.

Környezetvédelmi és gazdasági érdek, hogy *fát használjunk fel mindenütt, ahol ésszerű és egyáltalán lehetséges*. A túlkínálat a nyomott faárakban is megmutatkozik. A fahasznosítás, a fafeldolgozás fejlesztése ennek a megfordítását is elősegíti. *Nálunk a sarangolt vékonyfa hasznosítása jelenti e téren a kiemelt feladatot.*

Nemcsak a faárak növelését segíti elő, hanem a kitermelt fának és a fatermékeknek a környezetbarát erdőgazdálkodásból való származását is bizonyítja az EU-ban bevezetésre kerülő és Ausztriában, Németországban már működő *tanúsítási, certifikációs rendszer*. Célszerű ennek bevezetését nálunk is megkezdeni és a fán kívül a vadhúsról és tróféáról, továbbá a fontosabb erdei termékekre is kiterjeszteni.

A fakitermelés és a fahasznosítás mint erdeink fenntartásának és fejlesztésének előfeltétele

Az utóbbi fél évszázad folyamán erdeink területével, az intenzív erdőgazdálkodás kiterjesztésével, a rontott erdők átalakításával és a gyorsan növekvő fafajok felkarolásával arányban növekedett az élőfa-készlet, az évi fanövedék és a kitermelhető famennyiség. Az ezredfordulón a fakitermelési lehetőség eléri az évi 9 millió m³-t amely a háromszorosa a fél évszázaddal előttinek. A következő évszázadban évi 10 millió m³-es fakitermeléssel lehet számolni, amelynek jelentős környezetvédelmi és gazdasági szerepe lesz a tartamos erdőgazdálkodás keretei között.

A második világháborút követő időszakban az ország faellátását jelentős faimport útján lehetett megoldani, mert a fenyők alacsony részaránya miatt a hazai er-

dők a fenyőfaigényeknek csak a 10%-át fedezték. A faellátás szempontjából a hazai fenyvesek jelenlegi 15,8%-os aránya sem elegendő, ha figyelembe vesszük azt, hogy az 1990-es évek fapiacának beszűkülése várhatóan átmeneti jellegű lesz. A gazdasági növekedéssel együtt nő a fafelhasználás is.

Az ezredfordulóhoz közeledve számottevő változás következett be az európai és a hazai fakitermelési lehetőségekben azért, mert a fakészlet és növedékeltározás pontosabbá vált az újabb fakitermelési kutatási eredmények hasznosításával. Kitűnt, hogy lényegesen több az erdők élőfakészlete, növedéke és a kitermelhető famennyiség annál, mint amit a különböző nemzetközi prognózisok (FAO) előre jeleztek. A legutóbbi európai felmérés szerint az elmúlt évtizedekben (1950–90) számottevő fakészlet halmozódott fel a kontinens erdeiben, mert nem termelték ki a kitermelhető famennyiséget. Ez jellemezte a hazai erdőgazdálkodást is.

A rendszerváltozást követő években a faigény jelentősen csökkent és az erdők privatizációja miatt a mintegy 40%-os részarányt alkotó magánerdőkben átmenetileg szünetelt a fakitermelés. Több tényezőnek köszönhető tehát, hogy nemzetközileg is eladatlan fakészletek halmozódtak fel, vagy a fakitermelési lehetőségeket a piaci igények alakulása miatt nem használták ki teljes mértékben. A 21. évszázad küszöbén a korábbiakkal részben ellentétes törekvések jellemzik mindezek következtében a fagazdaságot.

A fafeldolgozás és a fakereskedelem kiemelt európai és hazai tényezői

Magyarország favagyonának hasznosítása többek között az európai és főleg a szomszédos államok faellátási, fapiaci helyzetétől függ. *Számunkra kiemelt jelentősége van annak, hogy az európai erdőkben egy fél évszázada kevesebb fát termelnek ki, mint az évi fanövedék. A fafeldolgozó ipar az olcsóbb fát kereste, hogy a növekvő minőségi igényekhez szükséges fejlesztéshez is rendelkezze elegendő gazdasági erőforrással.*

Az 1996. évi ETTS-jelentés hangsúlyozottan hívta fel az európai figyelmet a fa és fatermékek kereskedelmének, felhasználásának az ösztönzésére. Ennek egyik oka az volt, hogy a tartamos erdőgazdálkodás finanszírozása is veszélybe került.

A fakínálat növekedése oda vezetett, hogy a faárak csökkentek. Amíg a méretes, kiváló minőségű hengeresfa(rönk) ára viszonylag alig változott, esetenként is növekedett is, addig a rendkívül nagy mennyiségben és feleslegesen jelentkező *sarangolt faválasztékok – papírfa, rostfa* – mint tömegárú kellő haszonnal alig értékesíthető.

Ismeretes, hogy a mezőgazdasági területeknek, mintegy a 15%-át kell az EU-tagállamoknak a termelésből kivonni. Jelentős mértékben várható az erdőterület megnövekedése, mert ezeken a területeken nagyobb részben erdőt telepítenek.

Elsősorban az alacsony értékű vékony fa kitermelése emelkedik a nevelővágások miatt.

A kedvezőtlen tényezők ellen hat, hogy a trópusi esőerdőkből származó olcsó fa behozatala ellen kiterjedően van a tiltakozás. Reményeink szerint hamarosan megoldódik ez a probléma, és bevezetik azt a tanúsítási rendszert, amelyről az előzőekben már említést tettünk, és amely arra hivatott, hogy igazolja a fának a tartamos erdőgazdálkodás alatt álló erdőkből való származását. Hazai és nemzetközi erdészeti, fahasznosítási érdek, hogy a tanúsítványokat a meglevő hatósági szervezetre, az Állami Erdészeti Szolgálatra bízzák. Hatékony piacvédelmi eszköz is jelenthet mindez, bevezetése sürgős intézkedést igényel.

Az EU keretében a fafeldolgozó iparon belül a fa építőanyagok szerepelnek a legnagyobb mennyiségben (38%). A fűrészipar részesedése 16%, a falemeziparé 22%.

Magyarországon a fafeldolgozó ipar szerkezete és tulajdonviszonyai, valamint az üzemek méretei az utóbbi évtizedekben jelentős változásokon mentek át. A privatizáció e területen befejeződött. A korábbi erdészeti-faipar integráció lényegében megszűnt. A fűrész- és a falemezipari cégek, vállalatok a vertikumból kiváltak. A termelőkapacitás lecsökkent.

A fafelesleg szempontjából döntő *farostlemez- és faforgácslap-gyártásban* javult a helyzet. Farostlemezből nőtt a termelés és az export. A forgácslapgyártást is a termelést növelő törekvések jellemzik. A belföldi piac azonban továbbra is meghatározó jelentőségű maradt.

A falemezipar a világpiacra erősen nyitott iparágak közé tartozik. A farostlemez és a faforgácslap mellett Európában újabb agglomerált falemezek gyártása – MDF, OSB, kompozit lemezek – terjedt el az utóbbi évtizedekben. Hazai szempontból ebben rejlik a fejlesztés lehetősége, mert alapanyag bőségesen, sőt feleslegben áll rendelkezésre.

A magyar növényvédelem korszerűsítésének koncepciója

A hazai növényvédelem korszerűsítését alapvetően öt tényezőben bekövetkezett változások kényszerítik ki:

1. Szemléletváltozás következett be a hazai és a nemzetközi közgondolkodásban; felértékelődtek a környezetvédelmi, a környezetgazdálkodási és az ökológiai szempontok.
2. Fokozódott a fogyasztóknak az élelmiszerek minőségével szemben támasztott igénye.
3. A rendszerváltozással együtt megváltozott a mezőgazdasági termelés üzemi, birtok- és tulajdonviszony-rendszere.
4. Jelentősen átalakult a növényvédelmi gyakorlati munkavégzés szerkezete.
5. Ki kell alakítani a zökkenőmentes EU-csatlakozás feltételeit.

A gyakorlati élet változására jellemző lesz a kétpólusosság:

1. A főfoglalkozást űző, üzemszerű árutermelést végző gazdák, illetve gazdaságok, vállalkozásszerű közép- és nagyüzemek, akár egyéni, akár társas formában. Ezekben intenzív, ún. „high input” jellegű termelés folyik. A növényvédelem képzett szakemberek irányítása alatt folyik. Az állami ellenőrzés szerepe viszonylag csekély.
2. A mellékfoglalkozást űző, jövedelemkiegészítő tevékenységet folytató egyének kisüzemekben tevékenykednek. Részben önellátás, olykor azonban árutermelés a céljuk. A növényvédelmi szakismeretük általában igen hiányos. Itt alapvető szerepet kell kapnia az állam által szervezett oktatásnak, szaktanácsadásnak és ellenőrzésnek. A növényekben található káros szermaradványok ellenőrzése feltehetően nagyobb feladat lesz ebben a kis- és törpeüzemi kategóriában. Feltehető, hogy a kémiai növényvédő szerek alkalmazása közben elkövetett egészségkárosító hanyagságok főleg itt fognak előfordulni.

Felértékelődik a tudás, azaz az oktatás, a továbbképzés és a szaktanácsadás szerepe. A növényvédelmi képzés, illetőleg továbbképzés jelenlegi gyakorlata kielégíti az igényeket, elsődlegesen a szaktanácsadás, az információs szolgáltatás,

az állami ellenőrzés és a központilag szervezett és finanszírozott növényvédelmi szolgáltatások fejlesztése a feladat.

Magyarországon a kormányzat által szervezett és finanszírozott *növényvédelmi szaktanácsadás* fórumai és színterei az 1990-es fordulatot megelőző években csaknem teljesen a megyei növény-egészségügyi állomások voltak. Az irányító állam feladatának tartotta az új eljárások és módszerek megismertetését a gyakorlati szakemberekkel. Ezzel párhuzamosan létezett a termelési rendszerek által nyújtott szaktanácsadói szolgáltatás, sőt a termeltető vállalatok (cukoripar, konzervipar stb.) is ellenőrizték az általuk kidolgozott technológia betartását, ami szaktanácsadói munkaként is felfogható.

Az 1990-es fordulat után a tulajdonviszonyok az ellenkezőjére változtak, és nagy számban jelentek meg azon mezőgazdasági vállalkozók, akik kényszerből vagy saját elhatározásból fogtak hozzá – szakismeret teljes hiányában – a mezőgazdasági termeléshez.

Ugyanakkor a növény-egészségügyi állomások profiltisztításával a szaktanácsadás korábban ismert formája megszűnt. A szaktanácsadásról szóló miniszeri rendelet bonyolult helyzetet teremtett. A magyar mezőgazdasági szaktanácsadás vállalkozás jellegű felépítése gyakorlatilag működésképtelenséget eredményezett, legalábbis a növényvédelem területén.

A növényvédőszer-piacon jelenlévő multinacionális cégek kialakították országos hálózatukat, melyben ma becslések szerint több mint 100 fő termékmenedzser dolgozik. Az üzleti típusú termék-szaktanácsadásban viszont elvitathatatlannul jelentős, pozitív irányú változás következett be az elmúlt években.

A tapasztalatok alapján összességében megállapítható, hogy piaci alapon, a különféle részérdekek érvényesítése mellett nem alakulhat ki egy egységes szaktanácsadási rendszer. Miután a növényvédelem nemcsak termelői, üzemi, hanem közérdekeket is szolgál, az irányítás felelőssége a tanácsadás korszerű kiépítése és az üzemeltetés biztosítása.

A hazai növényvédelmi szakképzés, szakképesítés Európában, de másutt is tekintélyt vívott ki magának. A peszticidek szakképzettséghez kötött forgalmi kategóriákba sorolásának hazai rendszere az EU-országok számára is követhető példa. Változtatni kell viszont azon a jelenlegi gyakorlaton, amely a szerhasználati jogosítvány tekintetében az agrár- és kertészmérnökök képzettségét nem ismeri el kellően. Továbbra is támogatni kell a felsőfokú szakirányú (növényvédelmi szakmérnöki) továbbképzést, valamint a PhD-képzést is a növényvédelem területén.

A növényvédelmi szaktanácsadás része a mezőgazdasági szaktanácsadási rendszernek. *Jó, eredményes növényvédelmi szaktanácsadási rendszer következképpen nem is képzelhető el az egész szaktanácsadási rendszer kiépítése, sőt a kutatás, oktatás, továbbképzés és szaktanácsadás, valamint az informatikai szolgáltatások integrált rendszerének a kiépítése nélkül.*

A magyar növényvédelmi előrejelzés koncepciójának elméleti felépítése és gyakorlati működtetése az 1970-es és '80-as években került az állami irányítás érdeklődési körébe. Már a kezdeti eredmények is jelentős hatást váltottak ki, és felhívták magukra a nemzetközi szakmai közvélemény figyelmét. A környezetvédelmi szempontok egyre fontosabbá válásával a fejlett agrárgazdasággal rendelkező országok mind nagyobb súlyt helyeztek a peszticidhasználat csökkentésére, természetesen a termésmennyiség és a magas termékminőség megőrzése mellett. A védekezési technológia állandó fejlesztésében az előrejelzési módszerek kiemelkedő helyet foglalnak el.

A rendszerváltás során az állami irányítás szerepe nálunk is módosult: a szaktarca tovább már nem tartotta feladatának az ilyen jellegű szakmai koordinációt, és lényegében teljesen beszüntette az előrejelzési rendszerépítést, illetőleg fenntartást. Hamarosan bebizonyosodott, hogy az állam kivonulása a növényvédelmi előrejelzésből veszélyeket hordoz magában, gondoljunk csak a vadgesztenye-aknázómoly-invázióra, a kukoricabogár-vészhelyzetekre vagy akár a rendszeresen megismétlődő peronoszpóra-, lisztharmat-, fitoftóra-epidemiákra. Az igazán nagy döbbenetet az alma tűzelhalásos betegségének első hazai előfordulása jelentette 1996-ban.

A sok figyelmeztető jel ellenére az országos növényvédelmi irányítás ma is késlekedik az országos növényvédelmi előrejelzés átfogó, mai igényeket kielégítő koncepciójának kimunkálásával és az ehhez csatlakozó cselekvési program létrehozásával.

Javaslatok a növényvédelmi eljárások fejlesztésére és az állami irányítás és ellenőrzés javítására

A legutóbbi évek tapasztalata bizonyítja, hogy újabb járványokra, rovar-gradiációkra bármikor számítani kell. A nemzetközi integráció fejlett. Az EPPO és más szervezetek segítségével és a hazai egyetemek és kutatóintézmények jelzésével naprakészen nyomon követhetők a világban előforduló nagy rovarkártételek és a növénykórtani helyzetek, nagyobb meglepetések nem érhetnek bennünket, és a központilag irányított védekezési felkészülést biztos alapokra helyezhetjük.

A jövőben rendkívüli fontosságot nyer a környezetvédelmi szempontok figyelembevétele, melyekre ma már az egész világ kényesen ügyel (különösen az EU és az Egyesült Államok). Ezzel kapcsolatban tudomásul kell venni azokat a tudományos eredményeket, amelyek igazolják, hogy a kémiai növényvédelemnek az ökoszisztémára gyakorolt káros hatása csak átmenetileg érvényesül, és az agro-ökoszisztéma egyensúlya gyorsan és automatikusan helyreáll.

A környezetvédelemmel kapcsolatosak a humán-egészségügyi szempontok is. Az újabb kutatási eredmények arra hívják fel a figyelmet, hogy a növényi élel-

miszerekben található peszticidmaradványok veszélyessége jóval kisebb, mint korábban gondolták. A növényekben kimutatott szermaradványok toxikusságát korábban tévesen ítélték meg, mert a kisemlősökben rendkívülien nagy töménységben alkalmazott szerek rákkeltő, illetve mutációt előidéző hatása alapján minősítettek bizonyos peszticideket károsnak, illetve kizárandónak.

Az előbbi szempont ellenére is fontos feladat, hogy a szermaradványokat hatóságilag monitorozzák (a nemzetközi követelmények ezt elő is írják). Ennek rendszere Magyarországon jól működik. A jövőben azonban a mintavételezést elsősorban a termőhelyen kell elvégezni és csak másodsorban a piacon.

A termőhelyen, a helyszínen végzett gyakorlati növényvédelem ellenőrzése érdekében növelni szükséges a növényvédelmi felügyelők létszámát, és őket a nem hatósági feladatoktól mentesíteni kell.

Az önkormányzatok szintjén jelenleg megoldatlan a helyi növényvédelmi szakirányítás és ellenőrzés, annak ellenére, hogy ezt érvényes törvények írják elő.

A termelők és a növényvédelmi szakma érdekvédelmére alkalmassá válhat a felállítani tervezett Növényvédő Mérnökök Kamarája. A jövőben az agrárkamaráknak is lehet növényvédelmi jellegű funkciója, például az állami támogatással lebonyolított szaktanácsadás.

A nem kémiai és környezetbarátnak tartott növényvédelmi eljárások közül a legfontosabb a betegség- és rovarrezisztens növényfajták nemesítése és termesztése. Ez egyben a legolcsóbb módszer is. Nem lehet tagadni, hogy vannak hátrányai a rezisztencia kihasználásának. Ezek: az ellenálló képesség 6–10 éven belüli eltűnése és a rezisztens fajták előállításának hosszadalmassága. Külön probléma a biotechnológiai úton előállított, genetikailag „manipulált” fajták kérdése. Az ilyen, úgynevezett transzgenikus növények engedélyezése és ellenőrzése jelenleg még nincs kidolgozva, illetve megoldva.

Az egyéb, nem kémiai növényvédelmi módszerek, mint a biológiai védekezés, a vetésforgó előnyeinek kihasználása a kártevők szempontjából, a rovarcsapdák alkalmazása stb. is előnyös a környezetvédelem szempontjából, de elterjedtségük, alkalmazhatóságuk jelenleg kisebb jelentőségű. A jövőben fokozódni fog ezeknek a védekezési lehetőségeknek a fontossága, de a kémiai növényvédelemmel szemben belátható ideig nem fognak áttörést jelenteni.

A kémiai növényvédelem alkalmazásának indokai a következők:

- Az újabb peszticidek igen kis mennyiségben is hatásosak, de toxicitásuk nem nagyobb a régiekéénél. Általában a mai növényvédő szerek toxicitása jelentősen csökkent, mert a szerengedélyezés világszerte szigorúbb lett.
- Eddig ismeretlen, új kártevők, kórokozók és gyomok megjelenése esetében vagy nagy epidémiák alkalmával elsősorban a peszticidek teszik lehetővé a termésbiztonság elérését, illetve katasztrófák elkerülését.
- A biológiai, agrotechnikai növényvédelem elégtelensége, bizonytalansága.

- A rezisztens növényfajták előállításának hosszadalmassága. A rezisztencia gyors elenyészése.
- A kémiai növényvédelem drasztikus hatása az ökoszisztémára csak átmeneti jellegű. A rovarfajok egyensúlya gyorsan helyreáll.
- A peszticid-maradványok humántoxicitása kisebb jelentőségű, mint eredetileg feltételezték.
- A peszticidek indokolatlan háttérbe szorítása növeli vagy éppen kiváltja a mikotoxinok által okozott humán-, illetve állatmérgezéseket.

Központi jelentőségű új feladat az, hogy az európai-, illetve nemzetközi környezetvédelmi és humán-egészségvédelmi szempontoknak meg kell felelni. A növény-egészségügyi kérdésekben csak szakmai képesítéssel bíró állami irányítási szakember kaphat döntési jogot (önkormányzati tisztviselők nem).

A növényvédelmi karantén-ellenőrzés szervezete és módszerei Magyarországon elérik a nemzetközi szintet. Az EU-csatlakozás időpontjában erősíteni kell a belső karanténhálózatot, és át kell alakítani a határállomási ellenőrzési rendszert. A nem tagországokkal érintkező határokon erősítés szükséges, és ehhez EU-támogatás kell.

A növényvédő szerek minőségének ellenőrzési rendszere Magyarországon kielégítő, illetve jó. A jövőben el kell érni, hogy a hamisítás kizárása érdekében a hatóanyagok mellett a szennyezőanyagok mérése is lehetővé váljék.

A növényvédőszer-engedélyezéssel kapcsolatban szükség van egy független szakértők bevonásával megalakítandó Növényvédőszer-engedélyezési Tanácsra, amely az FVM tanácsadó testülete lenne. A szerengedélyezéssel kapcsolatban meg kell valósítani azt az elvet, hogy a hivatalos hálózat laboratóriumai mellett független laboratóriumok (egyetemek, kutatóintézetek) munkájának bevonására is sor kerüljön.

Igen fontos közvetett növényvédelmi eljárás a vírusmentes növényi szaporítóanyagok előállítása és gyakorlati használata. A múlt hibája, hogy a 15–20 évvel ezelőtti kezdeményezés megtorpant. Az ezredforduló mezőgazdaságának feladata a burgonya-, gyümölcs- és szőlő-szaporítóanyag vírusmentesítésének megszervezése.

A fejlett gazdasággal bíró államokban a növényvédelem jövőjét az integrált védekezés jelenti: a kémiai és nem kémiai (környezetbarát) védekezési eljárások együttes, integrált alkalmazása. Az integrált védekezés (nemzetközileg használt angol rövidítése: IPM) mind a fenntartható mezőgazdaság, mind a környezetvédelem szempontjából követendő irányzat, amelyet az EU is szigorúan megkövetel, mert alapvető célja a peszticidek túlzó és indokolatlan egyoldalú alkalmazásának visszaszorítása, ezen túlmenően integrált védekezéssel lehet a leghatásosabban elkerülni vagy csökkenteni azt a veszélyt, amelyet a károsítók-

ban előbb-utóbb kialakuló rezisztencia jelent akár a peszticidekkel, akár a biológiai védekezéssel szemben.

javaslatok a növényvédelmi szaktanácsadás és informatika fejlesztésére

A magyar növényvédelmi szaktanácsadás rendszerében gyakorlatilag nem történt lényegi változás az elmúlt évtizedben, annak ellenére, hogy a mezőgazdaság rendszerében, a birtokméretben, a tulajdonmegoszlásban gyökeres változások mentek végbe, átalakítva ezzel a növényvédelmi képzés, továbbképzés, szaktanácsadás, informatikai kiszolgálás és a felügyelet, ellenőrzés iránti igényt.

A növényvédelem speciális tudást, magas megbízhatósági szintet, modern, gyakran drága felszereltséget, információs bázist, nagyobb területegység integráltságát feltételező, illetve igénylő tevékenység, amely nagymértékben meghatározza a termés mennyiségét, minőségét, ezzel a termés gazdasági eredményességét. Emiatt a gazdálkodóknak szükségük van alkalmazható növényvédelmi tudásra, ezért nagy számban igénylik a növényvédelmi szaktanácsadást.

A növényvédelmi tevékenység hatása gyakran túlnő az azt végző gazdasági egység határain és érdekein. Az eredményes védekezés megszervezéséhez és elvégzéséhez sokszor van szükség több gazdaság összehangolt munkájára.

A növényvédelmi szaktanácsadás speciális jellegénél fogva, működési formáit tekintve leválasztható az általános mezőgazdasági szaktanácsadási rendszerről, de annak keretein belül is tartható a speciális jegyek figyelembevételével. Számos külföldi ország példája mutatja, hogy az állami irányítású, de az érdekvédelmi szervezetek által irányított szaktanácsadás is lehet nagy hatékonyságú. Magyarországon a növényvédelmi szakemberek önszerveződése, illetve érdekképviselési rendszere kezdetleges állapotban van, ezért a szaktanácsadás irányítása, illetőleg a mihamarabbi újrászervezése állami feladat, ami nem jelenti azt, hogy később nem lesz szükség módosításra.

A sikeres szaktanácsadás személyi és tárgyi feltételei Magyarországon adottak, részint a nemzetközileg is elismert növény-egészségügyi és agrokémiai állomások hálózatában, részint a felsőoktatási intézményekben. A növényvédelmi szaktanácsadás szervezete erre a hálózatra épülhetne úgy, hogy a szaktanácsadás szervezője, esetleg központja az agráregyetemi hálózat legyen. A növényvédelmi kutatással foglalkozó, magas színvonalon felszerelt intézetek szintén bekapcsolhatóak a speciális szaktanácsadásba.

Figyelembe véve a szervezési ráfordításokat is, gyakorlatilag alacsony pótlólagos befektetéssel ki lehet alakítani a hatékony szaktanácsadási rendszert. A rendszer fenntartása, üzemeltetése és továbbfejlesztése azonban már nem olcsó feladat, és csak akkor lehet eredményes, ha a szaktanácsadási rendszer a terme-

lésnek biztosítja azt a többletjövedelmet, amely elégséges motivációt jelent. A növényvédelemre is igaz az az általános megállapítás, hogy a szaktanácsadás szolgáltatás, amelynek értéke, ennél fogva ára van. Az értéket az új információ megszerzésének költsége, a szaktanácsadói hálózat kiépítése, fenntartása, a szaktanácsadó szakemberek képzettségének szinten tartása, a szakemberek megtartásához szükséges bérszint költsége, illetőleg mindennek a szintje szabja meg. Gazdasági hasznon a szaktanács alkalmazása által elért bevételnövekedést vagy bevételkiesés megelőzése útján valorizált értéket kell érteni.

A hazai növényvédelmi rendszernek nincs átfogó informatikai stratégiája, a fejlesztések egymástól elszigetelten, többnyire támogatás nélkül történnek. Mindenekelőtt főhatósági, tárcaszinten kell megfogalmazni a teendőket, ezt követően készüljön részletes fejlesztési terv a növényvédelmi informatika minden részletére kiterjedően (az információkezelés, -feldolgozás, -áramlás, -megjelenítés különböző formái, a fejlesztés stb.). A fejlesztési terv része a megvalósítási koncepció, amely rendelkezéseket tartalmaz a megvalósításhoz szükséges feltételek biztosítására.

A szaktanácsadás nem nélkülözheti az információ szerzését, feldolgozását és tárolását. A felhasználás során számtalan esetben elégséges csupán információs szolgáltatást biztosítani, más esetekben pedig feldolgozott információt, szaktanácsot kell nyújtani. A szaktanácsadást irányító szervezet feladatául lehet szabni az írott és elektronikus sajtó fokozott bekapcsolását az információáramlásba. A növényvédelmi információk gyors hozzáférhetőségét az internetes hálózat igénybevitelével lehet biztosítani, melynek megszervezését a rendszer kiépítése során szintén meg kell oldani.

Katalógusszerű kimutatást szükséges készíteni a növényvédelmi információk különböző formáiról és elérhetőségéről.

Javaslatok a növényvédelmi előrejelzés fejlesztésére

Kiderült, hogy a túlzó peszticid-alkalmazásnak legfőbb oka éppen a szakértelem hiánya (ezért szükséges a tárgyilagos növényvédelmi szaktanácsadás) és a járványok és rovar-gradációk meglepetésszerű előfordulása. Ez utóbbi miatt van égetően szükség a növényvédelmi előrejelzés tökéletesítésére. A betegség- és rovarrezisztens növények termesztése is fontos peszticidek visszaszorítása érdekében, de a növények rezisztenciája általában nem tartós, hanem 6–10 év alatt rendszerint eltűnik. A többi nem kémiai eljárás is bizonytalan vagy legalábbis nem gazdaságos. Átütő és gyors sikert elsősorban a szakismeretek terjesztésével és a növényvédelmi előrejelzéssel lehet elérni.

Az egyéni termelők nem képesek előre látni a járványok vagy rovar-gradációk kialakulását, de egyes új károsítók behurcolásának veszélyét sem. Ezért a

növényvédelmi előrejelzés kiépítése és irányítása állami feladat, még piacgazdasági keretek között is.

A sikeres növényvédelemmel szembeni követelmények a következők:

- hatásosság,
- gazdaságosság (hobbikertekben és gazdaságokban nem szempont),
- környezetkímélés,
- emberi egészségkímélés.

A mai közmeggyőződés szerint ezeket a kívánalmakat akkor érjük el a legsikeresebben, ha a kémiai növényvédelmet (a peszticidek alkalmazását) korlátok közé szorítjuk. A korlátozásnak ésszerűnek kell lennie, ami annyit jelent, hogy a felesleges, pazarló, a biztonság érdekében túlzásba vitt kémiai növényvédelmet elkerüljük. A korlátozás azért is szükséges, mert a környezetmegóvás és az emberi egészségkímélés megkívánja azt, hogy a kémiai módszerekkel együtt más eljárásokat is alkalmazzunk, azaz *integrált növényvédelmet* valósítsunk meg. A peszticidek alkalmazásán kívül a következő eljárásokat, illetve intézkedéseket kell végrehajtanunk és alkalmaznunk, hogy az integrált védekezés sikeres legyen:

- a betegség- és rovarrezisztens növények termesztése,
- agrotechnikai eljárások kihasználása a növényvédelmi szempontok szerint,
- ahol gazdaságos és eredményes, a biológiai védekezést kell alkalmazni, illetve integrálni más eljárásokkal,
- kórokozómentes növényi szaporítóanyagok alkalmazása,
- emberre és a hasznos állatokra eleve nem veszélyes peszticidek alkalmazása,
- a növényvédelmi szaktanácsadás és informatika fejlesztése,
- a kórokozó-járványok és rovar-gradiációk előrejelzése.

Javaslatok az országos és megyei előrejelzés fejlesztésére

- Az országos és megyei szinten jelentős károsítók listáját célszerű felülvizsgálni.
- Állami feladat a behurcolt, illetve újonnan fellépett károsítók felderítése, megfigyelése és országos előrejelzése. Ebbe a tevékenységbe célszerű bevonni a felsőoktatási intézmények és kutatóintézetek szakembereit is.
- Az új kórokozók és kártevők fellépéséről és terjedéséről rendszeresebben kell informálni a termelőket, például a Falurádió és országos szaklapokon keresztül.
- A rendszeres előrejelzési szolgáltatást az internetre telepített hetenkénti, kéthetenkénti előrejelzéssel is célszerű tökéletesíteni.
- A gyakorlatban működő növényvédelmi szakmérnököket a növény-egészségügyi hálózat központjából közvetlenül és rendszeresen kellene ellátni előrejelzési információkkal. Ezért célszerű egy telefonos vagy számítógépes

(e-mail) kapcsolatrendszer megvalósítása. Ehhez szükség van a megalakuló félben lévő Növényvédelmi Kamara közreműködésére is.

- Megfontolandó olyan önálló előrejelző munkakörök létesítése is, amely szerint egy-egy szakértő a megyei állomások biológiai laboratóriumában csak előrejelzéssel foglalkozna.
- Az előrejelzési műszerpark differenciált fejlesztésére a közeli jövőben nagy szükség lesz. Ez a Növény-egészségügyi és Agrokémiai Állomások műszerparkját érintené elsősorban.
- Archiválandó és szigorúan megőrzendő az elmúlt évtizedek előrejelzési adattömege, mert a jövőbeli elemzéseket erre lehet építeni.

Javaslatok a helyi (üzemi) előrejelzés fejlesztésére

A helyi növénykárosítók helyi megfigyelésének, előrejelzésének, valamint a riasztási rendszerek kifejlesztésének kezdeményezői lehetnek (állami ösztönzéssel):

- egyetemek, kutatóhelyek,
- termelési integrátorok,
- hegyközségek (egyéb társulások),
- helyi önkormányzatok,
- növényvédelmi szakmérnökök (kisebb területeken),
- országos növényvédelmi szervezet (különleges esetekben).
- Pályázati rendszerrel kellene ösztönözni a helyi előrejelzési és riasztási rendszerek kifejlesztését EU-mintára állami pályázati rendszerben.
- Előrejelzési célműszerek beszerzését, állami támogatási keretek között szükséges ösztönözni (a működtetés ellenőrzésével).

Javaslatok az előrejelzési módszerek fejlesztésére

- Az elmúlt évtizedben a módszertani fejlesztés egy-két részterület kivételével (szexcsapdák, szőlőbetegségek számítógépes fejlesztése) nem haladt előre. Pályázati rendszerrel kellene ösztönözni ezen időszerű módszertani problémák kidolgozását.
- Dolgozzon ki kultúránkénti módszertani útmutatókat az országos növényegészségügyi szervezet, és bocsássa ezeket a termelői közösségek rendelkezésére.
- Kidolgozandó egy automatikus, számítógépes információs rendszer (szoftver), amelyben az aktuális információkat maguk a résztvevők adják, és a betáplált aktuális információt automatikusan megkaphatják, bármely partnertől származik is az. Ennek a rendszernek partnerei lehetnek az országos

növény-egészségügyi hálózaton kívül a termelők, integrátorok, egyetemek, kutatóintézetek stb.

- Szükséges az elmúlt évtizedek során összegyűlt előrejelzési adatbázis utólagos, számítógépes rögzítése és elemzése amiatt, hogy az új előrejelzési módszerek kidolgozása érdekében azokat össze lehessen vetni az időjárási adatokkal. Ennek megvalósítása pályázati támogatást igényel, amelyben egyetemi és kutatóintézeti szakemberek is részt vehetnének.

*

A fent vázolt növényvédelmi koncepció előzetes megvitatásában részt vett Prof. Benedek Pál D. Sc., Dr. habil. Kovács János és Prof. Reisinger Péter.

A növényi biotechnológia

Stratégiai javaslatok és prioritások

1. Az ezredfordulón a génsebészet és a sejtbiológia kutatási eredményeire alapozott technológiák (biotechnológia) piaci versenyképességet és gazdaságosságot meghatározó tényezővé válnak a fejlett országot mezőgazdaságában, és az élelmiszer-termelés növelésének egyik alapját jelentik a fejlődő országokban.

2. Az utóbbi években a géntechnológiai módszerekkel nemesített fajták termesztése ugrásszerűen megemelkedett (1999-ban elérte a 40,1 millió hektárt), ami egyértelműen jelzi a gazdasági hatások súlyát. Mind a fejlesztések, mind a termék-előállítás területén jelentős regionális és országok közötti különbségek vannak. Míg az amerikai kontinens országai és Kína már nagymértékben használják a géntechnológiával kifejlesztett vetőmagot és növényi termékeket, addig Európában a fajták nem hordoznak beépített gént, annak ellenére, hogy ezek fokozott agronómiai teljesítménye bizonyított. Ez a technológiai lemaradás jelentős kihívást jelent az Európai Unió számára, és intenzív fejlesztési programok beindítását tette szükségessé. A géntechnológiával kidolgozott termékek gyakran multinacionális cégek érdekeltségi köréhez tartoznak. Ez is szerepet játszhat az európai piacra történő bekerülés késésében, így a kiterjedt használatig több évre is szükség lehet.

3. Felfokozott technológiai verseny közepette kell Magyarországon azokat a stratégiai döntéseket meghozni, amelyek biztosíthatják a hazai növény-nemesítés, vetőmagipar, valamint termék-előállítás versenyképességét, hatékonyságát. A hazai értékesítésű és felhasználású termékek esetében az alacsonyabb önköltség, a környezetbarát agrotechnika, a jobb minőség elérése már önmagában indokoltá teszi a géntechnológiával nemesített tenyésztanyagok használatát. Az értéktöbbleten egyaránt osztozik a növény-nemesítő, a gazda és a vásárló. Az exportáruk európai piacon történő értékesítésének lehetősége az ottani vásárlók és hasznosítók nyitottságától függ. *Az amerikai tapasztalatok alapján a géntechnológiai termékek elterjedésével lehet számolni Európában is.* Az ipari hasznosítású termékek esetében gyorsabb ütemű felhasználás-növekedés várható, míg az élelmiszerek fogyasztását lassabban, a minőségi garanciák biztosításával lehet elérni. Az Európai Unión kívül is jelentős piac megszerzését segíthetik a jobb gazdasági és minőségi paraméterek.

4. A magyar fejlesztési programok alternatívái:

a) *Az európai piac nyitottá válik a géntechnológiai termékek iránt: építve a hazai növénynemesítés tradícióira, eredményességére, a géntechnológiai kutatások meglévő kapacitásaira, a fejlesztések időben történő bővítésével kedvező pozíció biztosítható mind a hazai technológiák, mind a magyar termékek számára. Vezető szerepet játszhat Magyarország a többi csatlakozó, illetve a visegrádi országok körét tekintve, de kedvező versenyhelyzet biztosítható az uniós partnerekkel szemben is bizonyos területeken, mint pl. búza, napraforgó, burgonya esetében.*

b) *Elhúzódik az európai piac nyitottá válása: hasznosíthatók a géntechnológia kínálta előnyök a hazai felhasználás során, illetve az amerikai és fejlődő országok piacán.*

5. A növénytermesztési ágazatban is a minőségjavítás és a piacképesség növelése technológiai fejlesztések révén biztosítható. Ezek közül *meghatározó tényező a fajta és az általa képviselt biológiai potenciál, amely egyaránt jelenti a termőképességet, a környezeti alkalmazkodóképességet, betegség-ellenállóságot, valamint a termékek minőségi jellemzőit.* A szántóföldi és feldolgozóipari technológiák is sokban a biológiai tulajdonságok függvényei. A tenyészanyag, a fajta jelentős szellemi hozzájárulással a növénynemesítés és a fajtafenntartás során jön létre. A szántóföldi kultúrák termesztési színvonalát – átlagos feltételek mellett – 30–50%-ban a fajta határozza meg. Növénynemesítés során keresztezéssel és szelekcióval történik a növények génállományának megváltoztatása és a kedvező tulajdonságok kialakítása. A géntechnológia ezt a tevékenységet teszi hatékonyabbá azzal, hogy hasznos agronómiai gének izolálásával és beépítésével alakít ki betegség-ellenállóságot, környezeti stresszekkel szembeni rezisztenciát, befolyásolja a növények növekedését, fejlődését, az élettani folyamatokat. A végeredmény egy tulajdonságaiban javított tenyészanyag. Ezt még a nemesítő tovább értékeli, és többéves kísérleti munka és fajtaminősítés után kerül a köztermesztésbe. Amennyiben új anyagcseretermékek, hatóanyagok jelennek meg a génbeépítést követően, úgy toxikológiai, farmakológiai vizsgálatok elvégzése szükséges, elsősorban az élelmiszerek esetén. Gyakran kedvező hatás érhető el a gének működésének befolyásolásával úgy, hogy a növényben eredetileg meglévő anyagcsere-folyamatok változnak meg.

6. *A géntechnológiai fejlesztések elsődleges célja a rekombináns DNS és a sejtbioológiai módszerek integrálása a növénynemesítés folyamatában.* A génbeépítés metodikai feltétele az, hogy testi sejtekből növényt lehessen felnevelni. A több mint egy évtizedes kutatási és fejlesztési tevékenység eredményeként a hazai nemesítő intézetek majd mindegyikében rendelkezésre állnak a szakmai és eszközi feltételek gének beépítésére többféle gazdasági növényünkbe, mint például kukorica, búza, rizs, burgonya, repce, lucerna, paradicsom. Szükség lenne metodikai fejlesztésekre napraforgó, cukorrépa, szőlő, gyümölcsfák, paprika, gyógynövények esetében.

7. *A géntechnológia növénynemesítési felhasználásának szűk keresztmetszetét ma Magyarországon a rendelkezésre álló agronómiai gének korlátozott száma jelenti.*

Néhány esetben megoldást hozhat a rezisztenciagének licencelése és a nemesítési tenyésztanyagokba való beépítése. Ugyanakkor *a hazai fajta-előállítás és vetőmagipar versenyképességének megőrzése érdekében elengedhetetlen az eredeti megoldásokra támaszkodó génizolálási programok megvalósítása*. Szükség van a hazai kutatási kapacitások koncentrálására, a feladatok elvégzésének összehangolására. Lényegében országos prioritások meghatározásával lehet biztosítani, hogy a növény-nemesítők hozzájussanak az új génekhez, és hasznosítani tudják azokat a fajta-előállítás során. Kiemelten fontos lehet a betegségekkel, kórokozókkal szembeni ellenállóságot biztosító gén izolálása. Továbbá szükség van a növények alkalmazkodóképességét javító génekre is.

A fejlesztőtevékenységért felelős hatóságok (FVM, OMFB, KVM) összehangolt kezdeményezésére és az anyagi háttér biztosítására van szükség az *országos projektek* megvalósításához, amelyekhez kapcsolódhatnak az alapkutatásokat és a nemesítést végző intézetek. *Lényeges annak hangsúlyozása, hogy maguk az agronómiai gének, illetve a kifejeződést biztosító szabályozóelemek piaci értékkel bíró forgalmazható termékek*. Az izolált funkcionális DNS-szakaszok cserealapul is szolgálhatnak további gén megszerzéséhez. A multinacionális cégeket érdekeltté kell tenni a hazai növény-nemesítőkkel való együttműködésben és a hazai szellemi termékek megvásárlásában. Idővel a géntechnológiai tevékenység kiszélesedhet egy fejlesztőipari tevékenységgé, amelyben kisvállalatok alakulhatnak az agronómiai hatású gén izolálására.

8. A világ fejlett országaiban több kutatási centrum, nemesítő cég vagy agrokémiai vállalat igen nagy tőkebefektetéssel dolgozik az úgynevezett *növényi genom-projekteken*. Ezek elsődleges célja a teljes DNS-állomány megszekvenálása és bioinformatikai módszerekkel a funkcionális elemek behatárolása. Így az *Arabidopsis*- és kukorica-genom közel teljes feltérképezése már befejezéshez közeleg. Az információk csak részben publikusak. Ezeket már most lehet hasznosítani az úgynevezett *molekuláris nemesítés* során. Javasolható *hungaricumot* képviselő növényeink (paprika, dinnye, szőlő) bevonásával molekuláris térképezési, illetve részleges szekvenálási projektek kezdeményezése. *Megfontolandó egy országos feladatokat ellátó DNS-chip-központ létrehozása*, amely ugyan nagy műszeres beruházást igényel, de többféle növény esetében is biztosíthatná a génműködés jellemzését és újdonságot jelentő gén felfedezését. Egy ilyen irányú fejlesztésnek már most megvannak a kezdéshez szükséges szellemi és technikai alapjai.

9. Jelenleg alapkutatási fázisban van, de a közeli jövőben már gazdasági hatású eredmények várhatók az úgynevezett *funkcionális genom-programoktól és az anyagcsere-„engineering”-től*. Ezek feltételezik a hatékony génbeépítési módszereket, automatizált fehérjevizsgálatokat és az immunológiai módszerek felhasználását. Tanúi lehetünk ilyen típusú biotechnológiai cégek megalakulásának mind az Egyesült Államokban, mind Európában. A kisméretű cégek létrejöttét segíthe-

tik az úgynevezett *innovációs vagy inkubációs parkok*. Igen fontos lenne szervezett támogatást adni a biotechnológia területén idehaza születő felfedezések, innovációk szabadalmi védelmének. Országos funkciót ellátó, az élettudományokra specializálódott szabadalmi irodákra, illetve a szabadalmak világméretű értékesítésével foglalkozó licenc-cégek tevékenységére lenne szükség.

10. A közép és kelet-európai régióban Magyarországnak előnyöket biztosít a géntechnológiai törvény 1999. január 1-i bevezetése. Ez az eurokonform szabályozás többszörös lehetőséget ad az esetlegesen felvetődött problémák idejekorán történő kiszűrésére. Lehetővé teszi a magyar intézmények és cégek számára, hogy partnerei legyenek a külföldi fejlesztőknek, és megkezdjék termékeik értékelését a multinacionális cégek. Természetesen ez fokozott kihívást és megnövekedett versenyt jelent a hazai nemesítők számára. A korábban felvázolt fejlesztések célja éppen az, hogy a hazai fajta-előállítás pozícióit javítsa, ha kell, állami támogatással megvalósított országos fejlesztési projektekkal. Ezzel párhuzamosan szükség van az együttműködések kiszélesítésére és a világcégek által képviselt szellemi potenciál hazai hasznosítására. A törvény segít kielégíteni a vásárlói elvárásokat, hogy kiváló minőségű, az egészséget nem veszélyeztető áru kerüljön forgalmazásra.

11. Néhány félresikerült kísérlettől és elvetélt ötlettől eltekintve a géntechnológiai fejlesztések jelentősen javíthatják a mezőgazdasági gyakorlatban az egészség- és környezetvédelmi szempontok érvényesítését. A géntechnológiai beavatkozások kiemelt célja a kórokozókkal szembeni rezisztencia kialakítása. Rezisztens fajták használata végső soron hozzájárulhat a kemikáliák, növényvédő szerek használatának mérsékléséhez. Így csökkenthető a vegyszeres beavatkozások gyakorisága, elkerülhetők a technológiai tévedések, a vegyszerek felhalmozódása az élelmiszerként fogyasztott növényekben. Ha a biogazdálkodás követelményeit komolyan vesszük, akkor könnyen belátható a rezisztens fajták igen fontos szerepe. A betegségekkel szembeni ellenállóságot biztosító gének ma már nagy számban állnak rendelkezésre. A rezisztencia-nemesítés mind fokozottabban alapul a gének beépítésére. Ezért joggal mondhatjuk, hogy az igazi biogazdálkodás nem nélkülözheti a géntechnológia által felkínált tenyésztanyagok használatát.

12. A géntechnológiával nemesített fajták termesztését gyakran kritizálják, ökológiai szempontokra hivatkozva. Így problémaként adódik, hogy a transzgénikus növények nem természetes szelekció termékei, ezért nem kívánatosak a természetben. Az állítás első fele valóban igaz, mert emberi beavatkozás folytán megváltozott génállománnyal és tulajdonságokkal rendelkeznek a transzformált növények. Mégis azt kell mondani, hogy ebből a szempontból semmiben nem különböznek a köztermesztésben lévő valamennyi növényünkötől. A fajták mindegyike emberi célokat megvalósító mesterséges beavatkozás terméke, amelynek létrehozásában a természetes szelekció minimális. Fontos annak hangsúlyozása, hogy a *génbeépítés lényegében nem jelent mást, mint ami a növény-nemesítés során tör-*

ténik, különösen akkor, ha növényi géneket építünk be növényekbe. Sőt azt kell mondanunk, hogy a gének összetételét ez a technológia célirányosan és szűk határok között módosítja. Szintén ellenzői kifogás, hogy a biológiai sokféleség sérül a transzgenikus növények termesztése következtében. A természetes növényi populációkra jellemző fajösszetételbeli gazdagság a géntechnológiától függetlenül a növénytermesztés kezdeteinél már megszűnt. A mai mezőgazdasági gyakorlat monokultúrákra épül. A gépesített művelési technológiák egyetlen fajazonos tulajdonságú egyedeit képesek gazdaságosan kiszolgálni. A fajták kiegyenlítettége alapvető követelmény. Kénytelenek vagyunk tudomásul venni, hogy a termesztett növények populációiban speciális ökológiai viszonyok vannak, és más törvények érvényesülnek, mint az erdőkben, réteken. A transzgenikus növények hatásai ezen a szinten nem jelentkeznek új tényezőként. Mivel a génbeépítés számos eltérő alapanyag bevonásával is elvégezhető, nincs akadálya a széles fajtaválaszték biztosításának. Általában nagyszámú, független transzformációs eseményből származó növényanyagot értékelnek a nemesítők, és választják ki a legjobbakat. Az értékelés több éven át tart, és mód van a természetes felszaporítás beszüntetésére, ha ezt a növények viselkedése indokolja.

Az ökológiai hatások értékelésekor meghatározó fontosságú az a kérdés, hogy a beépített gén kereszteződés útján átkerülhet-e más, a természetben előforduló növénybe. Különösen kritikus ez a probléma, ha nem növényi eredetű a beépített gén. Tekintettel a fajok virágzásbiológiájában tapasztalható eltérésekre, igen különbözőek az átkeresztződés esélyei. Így aligha találunk az európai kontinensen szabadon élő növényt, amely kereszteződhetne például a kukoricával. Hasonlóan nem várható génkiszabadulás a búzából vagy burgonyából. Más a helyzet a repce vagy a lucerna esetében. Ezek a növények adhatnak át géneket vad fajnak. Ezt figyelembe kell venni a szabadföldi termesztés engedélyezésekor, és szükség esetén korlátozandó a gének köre.

*

Egyre bővülő tapasztalat igazolja, hogy a géntechnológia a gazdaságos, környezetbarát növénytermesztés integráns részévé válik. Gazdasági hatásai a fajta-előállításra és a vetőmagiparon keresztül érvényesülnek elsősorban. Magyarországon éghajlati és talajadottságai, növénytermesztési hagyományai, valamint molekuláris és sejtbiológiai alapú kutatási eredményei alapján jó eséllyel juthat ezen a területen vezető szerephez a régió országait tekintve. Idejekorán meg szervezett, koncentrált kutatási-fejlesztési tevékenységgel előnyös pozíciót biztosíthat az EU-csatlakozás idejére. Élni kellene ezekkel a lehetőségekkel.

Az állat-biotechnológia a termelés szolgálatában

Stratégiai kutatási programunk előzményeként – és egyik alappilléreként – jelent meg 1995-ben *A Magyar Tudományos Akadémia ajánlásai az agrárgazdaság fejlesztésére*. Ebből az átfogó munkából – amelyet az MTA elnöksége elfogadott, és a kormány elé terjesztett – idézem a következőket: „A mezőgazdasági termelést, annak szerkezetét alapvetően a piaci mechanizmusoknak szükséges orientálnia [...] elsősorban a magas minőségi színvonalú, differenciált fogyasztói igények kielégítését célzó magas hozzáadottérték-tartalmú termékeknek kellene dominálniuk. Indokolt prioritást adni a [...] tenyészállatoknak és a szaporítóanyagoknak, a speciális magyar adottságokra és termelési kultúrára épülő hungaricumoknak.”

A magyar állattenyésztés gyors ütemű, differenciált mennyiségi és minőségi fejlesztése nem tűr halasztást! Ez a sürgető és nemzetgazdasági szintű, stratégiai jelentőségű feladatkomplexum előtérbe állítja *az új biotechnológiát – mint a fejlődés katalizátorát* –, amelynek hatékony és idővesztés nélküli hasznosítását mellőzve állattenyésztésünk új fejlődési pályára emelése nem lehetne eredményes. Az előttünk álló euroatlanti integráció különösen sürgeti a verseny- és piac-képes állati-termék-előállítás távlati nemzetgazdasági célokat is hatékonyan szolgáló, átfogó rendszerének megvalósítását.

A biotechnológia a mezőgazdaságban és az élelmiszeriparban (a humán egészségügy mellett) napjainkban és a belátható jövőben *forradalmasítja a termelést, és hozzájárul az életminőség javításához és a környezetvédelem sikeréhez is*. Ennél fogva az állattenyésztés területén ugyancsak *prioritást kell kapniuk a termelés mennyiségét, hatékonyságát és a termékek minőségét szolgáló, ökológiai és ökonomiai szemlélettel áthatott biotechnikai-biotechnológiai kutatásoknak, szakemberképzésnek és szaktanácsadásnak, teljes innovációs vertikumnak*.

Az állat-biotechnológia fokozatosan és folyamatosan beépül az állattenyésztési stratégiákba, a termelés, a feldolgozás, az állategészségügy és a környezetgazdálkodás szféráiba, alapvetően javítja agrárgazdaságunk pozícióit a nemzetközi versenyben is – természetesen csak akkor, ha ehhez a közgazdasági környezet (az érdekeltségi rendszer) megfelelő stimulusokat ad!

Az elmúlt évtized – amint közismert, de ma sem méltányolt kellőképpen – a magyar állattenyésztést és az állat-biotechnológiát is súlyos helyzetbe hozta. A sorozatos megszorítások és nagy veszteségek után – remélhetően és parancsoló szükségszerűségként – a fellendülés évei következnek. A hazai szakembergárda és intézményrendszer (ma még) jórészt képes és kész megfelelni a kihívásoknak, de *feltétlenül jelentős fejlesztésre szorul*, ha az előttünk álló évtizedek várható „szint-áttöréseire” és növekvő igényeire, valamint kíméletlen nemzetközi versenyére gondolunk!

A jelentősebb hazai kutatási és fejlesztési (K+F) kapacitások (amelyeket kiegészít a külföldön dolgozó kutatók által képviselt tudományos kapacitás) a következők:

- Mezőgazdasági Biotechnológiai Kutatóközpont, Gödöllő,
- Állattenyésztési és Takarmányozási Kutatóintézet, Herceghalom,
- Kisállattenyésztési és Takarmányozási Kutatóintézet, Gödöllő,
- Állatorvos-tudományi Egyetem, Budapest (és Üllő),
- Gödöllői Agrártudományi Egyetem Állattenyésztési Intézete és Molekuláris Genetika és Biotechnológia Tanszéke,
- PATE Mezőgazdaság-tudományi Kara, Mosonmagyaróvár,
- PATE Állattenyésztési Kara, Kaposvár,
- DATE Állattenyésztési Intézete, Debrecen,
- MTA Állatorvos-tudományi Kutatóintézete, Budapest,
- állat-egészségügyi intézetek országos hálózata (valamint állat-egészségügyi vállalatok és vállalkozások),
- MTA-GATE Állatnemesítési Kutatócsoport, Gödöllő,
- Országos Mesterséges Termékenyítő Rt., Gödöllő (és vidéki állomásai),
- embrióátültető vállalkozások (Fejér és Baranya megyében stb.),
- törzstenyészetek („nukleusz”-tenyészetek).

A közeljövőben szervezeten vehetnek részt – és bevonandók a K+F programokba – az *új egyetemi és főiskolai integrációk*, a Haltenyésztési Kutatóintézet (Szarvas), a fajtaegyesületek, a Magyar Állattenyésztők Szövetségének tagjai, a BOSGENETIK Kft. és egyéb – importspermát és embriókat forgalmazó – cégek is. Ezeket *érdekltté kell tenni* a biotechnológiai eredmények alkalmazásában és fejlesztésében, elősegítve *innovációs parkok* kialakítását és működtetését az egyetemi-főiskolai központok és kutatóintézetek vonzáskörzetében.

A nemzetközi élmezőnyhöz való felzárkózást jelentő – illetve célzó – *eredmények* születtek (jelentős gazdasági állatfajok mellett a haltenyésztésre és egyes laboratóriumi, valamint vadgazdálkodást szolgáló fajokra vonatkozóan széles körű hazai és nemzetközi együttműködéssel) a következő területeken:

- a mesterséges termékenyítés és spermamélyhűtés új technológiái,
- a spermaszexálás különböző módszerei,
- ivarzás-szinkronizálás, a vemhességvizsgálati módszerek fejlesztése,

- embriómélyhűtés, embrióbankok létrehozása,
- identikus ikrek létrehozása embriódarabolással,
- kimérák előállítás,
- embriók ivar-meghatározása,
- klónozás (különböző módszerek adaptálása) hasznosításának megalapozása,
- az *in vitro* embrió-előállítás és -manipulálás technikáinak fejlesztése,
- ginogenezis és androgenézis halfajokban,
- génátültetési kísérletek (több fajban),
- génkészletek konzerválása és hasznosítása (*ex situ* és *in situ* módszerek fejlesztése és kombinálása),
- nagy hatású gének vizsgálata és hasznosítása (pl. a juh szaporaságát fokozó gén), káros hatású gének (pl. BLAD) felderítése és eliminálása,
- markergének hasznosításának elősegítése („követő” kutatásokkal),
- genom-analízisek,
- a „nukleusz-nemesítési stratégia” modelljének kidolgozása,
- az embrió-átültetésre és -mikromanipulációkra alapozott genetikai-nemesítési lehetőségek rendszerbe foglalása,
- a szelekciós és keresztezéses nemesítés hatékonyságának növelésére átfogó javaslatok kidolgozása,
- a nemzetközi integráció új lehetőségeinek feltárása,
- az „adekvát mutációk” és a génerózió problémakörének feltárása (javaslatok kidolgozása),
- DNS-alapú diagnosztikai eljárások,
- fehérjealapú diagnosztikai módszerek (állategészségügyben),
- új generációs vakcinák,
- a „genetikai immunizálás” megalapozása,
- a bioinformatika fejlesztése,
- a szakemberképzés korszerűsítése (beleértve doktori iskolák kialakítását és működtetését).

A K+F eredmények az alap-, alapozó, alkalmazott és fejlesztő kutatások szintjén egyaránt megjelentek, széles körű alkalmazásuk és folyamatos továbbfejlesztésük állandó feladat!

Ajánlások

1. Országos állat-biotechnológiai kutatási program indítása a következő fő feladatokkal:

1.1 A szaporítás modern biotechnikai módszereinek (mesterséges termékenyítés, ondó- és embrió-mélyhűtés, embrió-átültetés, *in vitro* embrió-technológiák,

klónozás) fejlesztése, új eljárások adaptálása és bevezetése a nemesítés csúcskategóriájába („nukleusz”-tenyészetek).

1.2 A tenyésztértékbecslés, a szelekció és a párosítások (tenyésztési eljárások) korszerűsítése az új biotechnikai-biotechnológiai eljárások segítségével:

- embriódonor egyedek ivadékvizsgálata,
- a modern családtenyésztés hatékonyságának növelése,
- szuperpárosítások hatékonyságának fokozása,
- a heterózistenyésztés eredményességének növelése.

1.3 A molekuláris genetika speciális módszereinek alkalmazása a nemesítés céljainak szolgálatában:

- genomanalízisek,
- markergének segítségével végzett szelekció és párosítás, a szelekciós nemesítés hatékonyságának fokozása,
- a keresztezéses nemesítés (beleértve a heterózistenyésztést is) eredményességének növelése,
- az értékes géntartalékok „feltérképezése”, hasznosítása és védelme, a „hungaricumok” piac- és versenyképes előállításának megalapozása és fejlesztése,
- géntérképezés (követő és adaptációs kutatás, főként a sertés- és a szarvasmarhafajban).

1.4 Transzgénikus állatok előállítása:

- „bioreaktorok” hasznosítására,
- szervátültetések (xenotranszplantáció) céljaira,
- rezisztencianemesítési célok szolgálatában (követő és adaptációs kutatásokkal).

1.5 Nagy értékű („csúcs”) egyedek és transzgenikus állatok klónozásának megoldása és hasznosítása (különböző módszerek alkalmazásával):

- a nemesítés hatékonyságának fokozása céljából,
- a transzgenézis eredményességének növelése végett,
- a perspektivikus genotípusok (vonalak) fenntartása céljából,
- a nemzetközi versenyképesség biztosítása és bizonyítása (referencia-klónsorozatok hasznosítása) érdekében.

1.6 Embriók preimplantációs genetikai diagnózisa:

- kívánt ivarú (szexált) embriók hasznosítása céljából,
- a tenyészcélok szempontjából kívánatos gének hordozóinak feltárására és hasznosítására,
- recesszív genetikai terheltségek hordozóinak (heterozigóta „carrier” egyedeknek) felderítésére és kiküszöbölésére.

1.7 Szexált sperma előállítása és hasznosítása:

- a piaci igényekhez rugalmasan alkalmazkodó állattípusok gyors előállítása céljából,

- a szakosítás hatékony elősegítése céljából,
- a keresztezések (beleértve a heterózistenyésztést) előnyeinek („típusheterózis”) hatékony kiaknázása végett.

1.8 Az új biotechnikai-biotechnológiai eljárások és szemlélet integrálása az állattenyésztési stratégiákba piac- és versenyképes állattípusok gyorsabb, hatékonyabb előállítása a mennyiségi és minőségi igények kielégítése céljából.

1.9 Az állatnemesítés nemzetközi integrációjában folytatódó magyar részvétel eredményességének fokozása, a nemzeti érdekek érvényesítésének elősegítése, csúcstechnikák (beleértve az *in vivo* testanalízisek) és az új biotechnológiai módszerek integrált alkalmazásának segítségével:

- új genotípusok – például BB kappa-kazein genotípus a dán jersey fajtában („protein line”) – behozatala és beépítése a hazai tejelőmarha-állományba (az ipari tej gazdaságosabb előállítása érdekében),
- ikerellő vonalak (húsmarhában és juhban) gyors ütemű elszaporítása embrióátültetés és embriófelezés (beleértve az indukált ikerellést embrióátültetés segítségével) alkalmazásával,
- egyes nagy hatású, kívánatos gének (például a hústermelést javító úgynevezett callipyge gén) beépítése a juhállományba,
- félembriók és embrióátültetési technológiák exportjának megalapozása, expanzív gazdaságpolitika elősegítése.

1.10 A halbiotechnológiai kutatások integrált fejlesztése, különös tekintettel

- a ginogenezis,
- az androgenézis,
- a spermamélyhűtés és
- a heterózistenyésztés új lehetőségeinek feltárására és kiaknázására.

1.11 Egyes kisállatfajok (például nyúl, lúd, méh) és szarvasfélék tenyésztésének gyors ütemű fejlesztése adaptálható biotechnológiai eszközökkel.

1.12 Az állategészségügyet szolgáló biotechnológiai eljárások integrált fejlesztése:

- új diagnosztikumok,
- új generációs vakcinák.

(Részletes önálló témacsoport kidolgozása és megvalósítása szükséges.)

1.13 A takarmánygazdálkodás és takarmányozás korszerűsítésének elősegítése új biotechnológiai eljárások alkalmazásával.

(Részletes önálló témacsoport kidolgozása és megvalósítása szükséges.)

1.14 Az új biotechnológia társadalmi elfogadtatásának elősegítése, etikai, morális stb. aggályok megválaszolása, a géntechnológiai törvény érvényesítésének támogatása a K+F eszközeivel. Az információs rendszer fejlesztése.

2. Az alap- és alkalmazott kutatások, valamint az innováció – tehát a K+F szféra teljes vertikuma – célrendszerének meghatározása, közös érdekeltségi alapra helyezése és országos koordinációjának megvalósítása.

3. A K+F szférára épülő és azzal hatékony kölcsönhatásban működő *szakemberképzés és továbbképzés* keretében átfogóan fejlesztendő

– a graduális (egyetemi és főiskolai) és

– a posztgraduális (beleértve doktori) szintű

állattenyésztési és állatorvosi biotechnológiai stúdiumok tantárgy- és eszközrendszere.

4. Az állat-biotechnológiát művelő és fejlesztő *doktori iskolák* kiemelten támogatandók!

5. A *biotechnológiai pályázatok* sikerének személyi és tárgyi *feltételrendszerét* prioritásként kell kezelni, különös tekintettel az Európai Unió V. K+F keretprogramjára!

6. A „*humán erőforrás*” – a tehetséges és elkötelezett fiatal szakemberek – *számára vonzó jövőt és megfelelő feltételrendszert kell teremteni*. Az „*agyak elrablásával*” szemben az „*agyak visszanyerése*” (például a kínai tapasztalatok tanulmányozása és érvényesítése)!

7. A *speciális magyar értékek és érdekek* szervezett és hatékony védelme, demonstrálása és érvényesítése a hazai és nemzetközi piacokon. A *marketing* a biotechnológiában is elengedhetetlenül fejlesztendő! A *hozzáadott szellemi érték* segítségével növelni kell *komparatív előnyeinket* és versenyképességünket!

Irodalom

Biotechnológia: lépéstartás Európával. Magyarország az ezredfordulón. Stratégiai kutatások a Magyar Tudományos Akadémián. Budapest, MTA, 1998, 158 p.

Dohy János: Biotechnológia és állatnemesítés – új eredmények, kihívások, kilátások. Székfoglaló előadás a Magyar Tudományos Akadémián (1999. március 4.) In *Székfoglalók 1995–1998*. 3. köt. Szerk. Glatz Ferenc. Budapest, MTA, 2000. (Akadémiai műhely.)

Az állattenyésztés fejlesztésének szükségessége és fő irányai

A fejlett agrárgazdasággal jellemezhető országok gazdaságtörténete tanúsítja, hogy magas színvonalú állattenyésztés nélkül nem képzelhető el a fenntartható agrárgazdaság, nem őrizhető meg az ápolat környezet, nem valósíthatók meg a hozzáadott érték növelését és a foglalkoztatást szükségszerűen szem előtt tartó célok.

Megfelelő színvonalú állattenyésztés nélkül nem teremthető meg az évente újratermelődő – napenergiát hasznosító – biomassza-készleteink egy részének értékes termékekké történő átalakítása. Nem lenne mód a versenyképesen megtermelhető gabonafeleslegeinknek a mainál rugalmasabb, hatékonyabb konverziójára.

A magyar állattenyésztés történelmünk folyamán sikeresen szolgálta a lakosság ellátását, és az export révén nélkülözhetetlen szerepet játszott a magyar külkereskedelmi egyensúly javításában, ezt a szerepét szükséges megőriznünk.

Állattenyésztésünk jelenlegi helyzete példátlan a 20. század történetében. A mai számosállat-létszám 50%-a csupán annak, amely jellemző volt országunkra a második világháborús éveket leszámítva. Így például 1911-ben, 1938-ban és 1985-ben az állatállomány mindig meghaladta a 3 millió számosállatot (ma csupán 1,6 millió). A létszámleépülés különösen szembeötlő a tömegtakarmányt fogyasztó fajok esetében, itt alig éri el az 1938-as létszám 35%-át. A jelenlegi országosan alacsony állatsűrűség súlyos gátjává válhat a hosszú távon fenntartható magyar agrárgazdaságnak.

A magyar állattenyésztés fejlesztése során mozgásterünket növeli az, hogy a hazai állatállomány környezeti terhelése nagyságrenddel kisebb annál, mint amely számos fejlett – hatalmas állattenyésztési potenciáljukat import takarmányokra alapozó – agrárexportőr EU-országra jellemző (Hollandia, Dánia, Olaszország; Po völgye stb.).

A magyar állattenyésztés hagyományainál és az ország adottságaiból következően sokoldalú, megnövelve a fejlesztések diverzifikációjának lehetőségeit, speciális vásárlói igények kielégítését. Kétségtől hátrányos, hogy nagyon magas követelményeket támasztó, sok termék esetében telített fizetőképes piac környezetében termelünk (EU, Svájc). Azok a szomszéd régiók pedig, ahol állati

termékekből tartós kereslet van, illetve lesz (déli és keleti területek), fizetőképesség szempontjából kiszámíthatatlanok.

Kihasztnátlan gyepterületeink intenzív hasznosítását nehezíti a szeszélyes, sokszor aszályos klíma. A legeltetésre alapozható állattenyésztési ágazatok fejlesztését jelentősen akadályozza a vagyonbiztonság drámai romlása.

A mai szétagprózódott birtokstruktúra, a nem integrált kisáru-termelői szektor nagy aránya, valamint az a tény, hogy számos árutermelő állattartó telep nem rendelkezik kellő nagyságú csatlakozó takarmánytermő területtel, objektív versenyhátrányt jelent számos EU-orsszággal szemben.

A jelenlegi helyzet

Takarmánygazdálkodás

Az állattenyésztés fejlesztésének meghatározó eleme a takarmány-alapanyagot előállító háttér, amely rendelkezésünkre áll. Az állattenyésztésben felhasznált takarmány az állati eredetű élelmiszer-termelés legnagyobb költségtele, meghaladja az évi 200 milliárd Ft-ot, az önköltség 65–75%-át képviselve.

Az elmúlt évtized során számottevően csökkent a takarmánytermő terület, a betakarító géppark műszaki állapotának leromlása miatt nőttek a betakarítási, tárolási veszteségek, csökkent az ipari abrakkeverék gyártása, romlott az állatok fehérje-, aminosav-, ásványianyag- és vitaminellátása, romlott a fehérjemérleg, amely döntően a sertés- és baromfiállomány fehérjeellátását és a termelés hatékonyságát érintette hátrányosan. A gyepterületek hozamait csökkentette a műtrágyázás erőteljes csökkenése, az öntözés visszaszorulása. Az állatállomány egy része olyan gazdaságokba került, ahol a takarmányozási szaktudás színvonala alacsony. Az állatállomány igényét ki nem elégítő takarmányozás nemcsak a termelés mennyiségi színvonalát csökkenti, hanem rontja a megetetett energia és fehérje hasznosulását is, mindezekon felül rontja a vágottáru minőségi tulajdonságait is. A nem megfelelő színvonalú takarmányozás az erőforrások komplex pazarlásának „leghatékonyabb” eszköze.

Szarvasmarha-tenyésztés

TEJTERMELÉS

A tejhasznú tehénállomány mintegy 70%-át közép- vagy nagyüzemben tartják, alig több mint 800 telepen (mintegy 270 ezer férőhely). Ezek összegzett férőhelykapacitása 70%-osan kihasznált (354 ezer férőhely). Súlyosnak ítéendő az 5000 kg-os átlagtermelést el nem érő telepek (37%) helyzete. A hazai tejágazat legkriti-

kusabb szektora a több mint 50 ezer gazda tulajdonát képező, a tehénállomány 30%-át kitevő „törpe tehenészetek” köre, mert itt a minőségi tejtermelés minimumát garantáló műszaki feltételek megteremtése még távlatilag sem elképzelhető.

A hazai tej- és tejtermékfogyasztás népegészségügyi szempontból is kritikus mértékben csökkent, és ami még veszélyesebb, egyes lakossági rétegek – főleg gyermekeik – alig fogyasztanak tejet és tejterméket. Ezen a helyzeten csak részlegesen segít a nagyon üdvözlendő, úgynevezett iskolatej-akció. Tejtermékexportunk mintegy 50-60 millió USD, az import 30 millió (1997-98).

HÚSMARHATENYÉSZTÉS

A hús típusú tehénállomány tragikusan lecsökkent, alig haladja meg a 20 ezer darabot. A valaha nagy volumenű húsmarha- és marhahúsexport lecsökkent 70-80 millió USD körüli szintre, ugyanakkor számottevő importőrre váltunk 15-20 millió USD nagyságrendben.

Sertéshústermelés

Az 1980-as évek végétől a romló gazdasági feltételek hatására a sertésállomány a 10 milliót meghaladó létszámról 5,4 millióra csökkent. Egyidejűleg a több mint 40 kg-ot meghaladó, egy főre eső sertéshúsfogyasztás 25 kg körülire mérséklődött, az exportpiacok számottevő beszűkülése mellett. Jelentősen csökkent az üzemként tartott sertések száma is, miközben a világ minden részén nagymértékű termelésnövekedés és -koncentráció zajlik (EU, USA stb.) A fajlagos üzemi termelési mutatók igen nagy szóródást mutatnak üzemek, üzemszövetek között. A műszaki-technológiai feltételek általában tovább romlottak, növekedett átlagos lemaradásunk a fejlett országokhoz képest (szaporaság 15-20%, napi tömeggyarapodás 20-25%, takarmányértékesítés 20%, színhús 6-7%), miközben néhány nagyüzemünk versenyképes a legjobb EU-üzemekkel is (25 malac/koca/év, 700 g tömeggyarapodás/nap, 3 kg/takarmányértékesítés, 57-58% színhústartalom).

A sertéságazat exportteljesítménye az 1994. évi mélypont után látványosan nőtt (374 millió USD, 1997), majd a kiéleződő krónikus értékesítési válság miatt 1998-99-ben visszaesett.

Baromfitenyésztés

A magyar baromfiipar 1988-ban érte el mennyiségi termelésének csúcspontját, 20 kg-ot meghaladó belső fogyasztás mellett 225 ezer tonnát exportálva. 1993-ban a

teljesítmény az 1988-as év 50%-ára esett vissza, elérve a mélypontot. A baromfi-ágazat teljesítménye az 1993-at követő időszakban stabilizálódott, a belföldi fogyasztás is nőtt (1997–98). Az export 400 millió USD fölött állandósult (1995–98). A magyar baromfitenyésztés világviszonylatban is sokoldalú, az utóbbi években dinamikusan fejlődött a pulykahústermelés és a kacsatermelés is. 1998 végén az orosz import drámai visszafogása lavinaszerű exportértékesítési válságot idézett elő, amelynek rövid távú hatása a magyar baromfitenyésztésre ma még megjósolhatatlan.

A magyar baromfitelepek technológiai-műszaki színvonala (szellőzés, etető-italó berendezések, épületek állaga) nagy szóródást mutat, összességében erősen növekszik lemaradásunk a legfejlettebb konkurensekétől. Az állományok genetikai képességét mind kevésbé vagyunk képesek kihasználni átlagos feltételeink között, ami rontja nemzetközi versenyképességünket, és erőforrás-pazarláshoz is vezet.

Juhtenyésztés

Az anyajuhállomány az 1980-as évek eleje óta 1,95 millióról 1996-ra 670 ezerre csökkent, elérve a mélypontot, majd lassú növekedés kezdődött, napjainkig elérte a 900 ezres létszámot. Az élő bárány és juh zömében exportra kerül. Az export évi 50 millió USD körüli (1994–97). Az EU-kvótákat csökkenő arányban tudjuk kitölteni árualap hiányában.

Nyúltenyésztés

A húsnyúltermelés exportorientált ágazat. Az 1990-es évek elején a 60 millió USD-t megközelítő export az évtized végére mintegy a felére csökkent, jelezve a termelés visszaesését. Zömében kistermelők állítják elő az árualap zömét, ezerre tehető a kifejezetten árutermelő nyulászatok száma.

Halternyésztés

A hazai haltermelés az 1980-as évek közepére jellemző évi 35-40 ezer tonnáról az 1990-es évtized végére 22 ezer tonna körülire csökkent, az évi egy főre eső halfogyasztás szerény 2,5 kg körüli, népegészségügyi szempontból is kívánatos lenne a növelése.

Méhészet

A hazai méhcsaládok száma az 1990-es 730 ezerről csökkenve az évtized végére alig haladta meg a 650 ezret. Az 1995-ös 26 millió USD-t kitevő mézexport 14 millióra csökkent (1997), az import összességében növekvő tendenciájú volt az 1990-es évtizedben.

Nagyvadtenyésztés

Az 1990-es évtizedben megteremtődtek az alapjai a legelőre alapozott gímszarvastenyésztésnek. A hazai állomány azonban alig haladja meg a 2000 db-ot, nemzetközi összehasonlításban is magas genetikai értéket képviselve. A nagyvadtenyésztés (gímszarvas, dámvad, vaddisznó) előtt számottevő bővítési lehetőségek adóttak.

Ajánlások az állattenyésztés fejlesztésére

Általános szempontok

A magyar agrárgazdaság fejlesztési stratégiájának elkerülhetetlen eleme az állattenyésztés határozott minőségi és mennyiségi fejlesztése a sokoldalúság, a diverzifikáció igényével. Ez a kényszer független az EU-csatlakozástól, önmagában is nemzeti érdek.

Az állattenyésztés fejlesztése során néhány alapelv figyelembevételével nélkülözhetetlen a fenntarthatóság, a környezetterhelés minimalizálása és a versenyképesség biztosítása érdekében.

- Magyarországon az állattermék-előállítás fejlesztését döntően a hazai takarmánybázisra célszerű alapozni, és csak a kis volumenű takarmánykomponensek importjára célszerű berendezkedni (egyes magas biológiai értékű fehérjekomponensek, aminosavak, enzimek, premixek vagy komponenseik stb.).
- Számolni kell a takarmányozási költségek növekedésével (vagy az árversenyt alapvetően meghatározó voltával), emiatt a minőségi tömegtermelést szolgáló, globális vagy kváziglobális versenyszférába tartozó ágazatokban (tejtermelés, sertés- és baromfitermelés) csak olyan fajták, típusok tenyésztendők és olyan technológiák valósítandók meg, amelyek esetében a takarmányértékesítés a gazdaságosság figyelembevételével a legkedvezőbb. Ez a stratégia termékegységre vetítve együtt biztosítja a környezet trágájával tör-

ténő terhelésének minimumát is, továbbá mérsékli a káros gázok légköri emisszióját.

- A vízfelhasználás az állattermék-előállítás minden területén racionálisan csökkentendő, a vízköltségek várható emelkedése és a vízkészletek végeessége miatt. A vízfogyasztás csökkentése egyúttal kisebb környezetterhelést is jelent egységnyi előállított állati termékre vetítve. A takarmányértékesítés komplex javítása egyben csökkenti a fajlagos vízfelhasználást is.
- Az állattartó telepek műszaki fejlesztése során az állatvédelmi szempontok nagyobb súlyt kapnak a jövőben, vigyázni kell azonban arra, hogy egyes úgynevezett állatbarát technológiák ne okozhassanak fokozott egészségügyi veszélyeztetettséget az állattartó embernek.
- Az előzőekben vázoltak nem vonatkoznak olyan ágazatokra, amelyek szorosan alkalmazkodnak az ökológiai feltételekhez, speciális fogyasztói és fizetőképes igényeket elégítenek ki, és nem széles fogyasztói igényeket kielégítő tömegtermelés a szerepük.
- Minden állattenyésztési ágazatban sokkal célratörőbben szükséges a különleges fogyasztói igényeknek megfelelő alapanyagot előállítani, optimalizálva a genotípust, az ivart, a hízlalás, a nevelés idejét és a takarmányozás és tartástechnológia számos elemét.
- Tovább nem tartható fenn az állattenyésztési kutatás minden nemzetközi összehasonlítást messze alulmúló költségvetési támogatottsága anélkül, hogy súlyosan veszélyeztetné állattenyésztési kultúránkat és versenyképességünket.

Takarmánygazdálkodás

- A jelenlegi állattenyésztési ágazati szerkezet mellett a takarmánybázis az állatállomány energiaigényét tekintve a mainál 12%-kal nagyobb állatállomány ellátását teszi lehetővé. Amennyiben a gyepgazdálkodás színvonalát az intenzív gyephasználat veszélyei nélkül javítanánk, a legfontosabb szántóföldi szálastakarmányoknak (silókukorica, pillangós zöldtakarmányok) a mai igen alacsony termésátlagát legalább 20%-kal növelnénk, és 15% körüli tudnánk csökkenteni a magas tartósítási veszteségeket, a jelenlegi takarmánytermő területen 30-40%-kal több kérődző állat energiaigénye lenne könnyen kielégíthető.
- A magyar takarmánymérleg – az állatállomány drasztikus csökkenése ellenére – összességében még mindig fehérjehiányt mutat. A kérődzők esetében a fehérjemérleg 15%-os többletet, az abrakfogyasztók esetében 17-18%-os hiányt mutat. Elengedhetetlen egy átfogó középtávú takarmányfehérje-

program indítása, amely felöleli a takarmányfehérje-termelés, a növényi és állati eredetű takarmányfeldolgozás, a -konzerválás és -felhasználás minden elemét. A program meghatározó elemének a hazai fehérjenövény-termesztés fejlesztését kell tekinteni, összefüggésben a kedvező környezetvédelmi, agrárökológiai komplex mellékhatásokkal is.

- A hazai keveréktakarmány-gyártás mennyisége az elmúlt évtizedben jelentősen csökkent, a minőség számos területen romlott. A nagy kapacitású (10–30 t/h) keverők műszaki színvonala megközelíti a nyugat-európaiak, a közepes kapacitásúak (3–10 t/h) általában rekonstrukcióra szorulnak, megteremtendő a minőségbiztosítás feltételeit. Számolni kell a kisebb gazdaságok daráló-keverő berendezéseinek (0,5–1 t/h) érdemi gyarapodásával, megteremtve a jó minőségű és megfelelő kisereltségű előkeverékkel való ellátásukat is.

Állattenyésztési ágazati stratégiák

A gazdasági, kifejezetten árutermelő állattenyésztési ágazatok fejlesztési stratégiáinak kimunkálásakor és a szabályozók kialakításakor két nagy ágazatcsoport szétválasztása szükséges.

Az első csoportba azok az ágazatok sorolandók, amelyek elsődleges célja a minőségi tömegtermelés idehaza és külföldön is nagy mennyiségben igényelt termékekből, és amelyek esetében már ma is érvényesülnek és belátható időn belül még jobban érvényesülni fognak globalizációs tendenciák. Ezek kifejezetten a versenyszférába tartoznak, és fejlesztésük során a nemzetközi versenyképesség és hatékonyság lehet csak a követendő stratégia, alapvetően mellőzve minden egyéb szempontot. Ha ugyanis nem ezt tesszük, a versenytársak nagy biztonsággal ki fognak szorítani még hazai piacainkról is egy liberalizáltabb kereskedelmi helyzetben.

Az első csoportba sorolandók: a tejtermelés, a sertéshústermelés és a baromfihústermelés legtöbb ágazata (csirke-, pulyka-, kacsá-, illetve tojástermelés).

A második csoportba azok az ágazatok tartoznak, amelyek részben úgynevezett hungaricumok, vagy fejlesztésük során környezetgazdálkodási, tájgazdálkodási, turisztikai, foglalkoztatási, vidékfejlesztési, illetve olyan ágazati mellékhatások is lényegesek, amelyek nem részei közvetlenül egy adott termék direkt versenyképességének (pl. méhek megporzó hatása révén fokozódó terméshozamok gyümölcsösökben, szemben a méztermeléssel mint áruval). E második csoportba sorolhatók a juh, a húsmarha, a ló, a lúd, a hal, a nyúl, a méh és a vadásztatás céljait is szolgáló tenyésztett állatfajok. Átfedések a két csoport között vannak és

lesznek, részben függvényeként annak is, hogy az egyes ágazatok volumene hogyan változik.

SZARVASMARHA-TENYÉSZTÉS

A tej- és tejterméktermelés döntő része továbbra is a belföld igényeit fogja kielégíteni, a magyar sajtexport és néhány tejtermék exportja azonban távlatilag is lehetséges lesz.

A tejtermelés növelése népegészségügyi szempontból feltétlenül indokolt, a belső piaci építkezés határozza meg döntően majd a termelhető tej mennyiségét. Vitathatatlanul célszerűnek látszik továbbra is az EU-csatlakozásig (2005-2006) a magyar tejtermelési potenciált a jelenleginél legalább 15-20%-kal nagyobbra tervezni.

- A tejtermelés minőségének javítását és lehetséges mennyiségi növelését csak kisebb részben a tehénlétszám növelésére, nagyobb részben a szakmailag és műszakilag jól felkészült árutermelő közép- vagy nagyüzemekre célszerű súlyozni, azokban elősegítve a fajlagos hozamok növelését, a versenyképes minőségi tejtermelést. A nélkülözhetetlen műszaki, technológiai rekonstrukciók forrásait a kifejezetten árutermelő tehenészetekre érdemes koncentrálni, beleértve a takarmánytermesztési infrastruktúra fejlesztését is.
- Érdemben lépéseket kell tenni annak érdekében, hogy a ma néhány tejelő tehenet tartó, sokezer kisgazdaság minőségi húsmarha tartására álljon át, hasznosítva a helyi takarmánybázist. A húsmarhatartás fejlesztését a gyepterületekre és melléktermékekre alapozva „low input” típusú egyéni, társas vagy családi vállalkozásban is indokolt segíteni. Utóbbi programok során az átalakítást célszerű összekötni területfejlesztési, foglalkoztatási, illetve szociális programokkal.

SERTÉSTENYÉSZTÉS

Az agrárpolitikának a fejlesztési stratégia szempontjából szigorúan ketté kell választania a kifejezett árutermelő gazdaságokat és az 1-5 sertést tartó, zömében önellátást szolgáló kisgazdaságokat, utóbbiak ugyanis elsődlegesen szociálpolitikai problémaként és annak eszköztárával kezelendők. Az árutermelő sertéshústermelés kifejezetten versenyágazat, és mindjobban ki lesz téve globális, elsősorban az USA által diktált, könyörtelen és példátlan dinamizmusú, exportorientált hatékonysági versenynek, beleértve ebbe az EU-országokat is mint potenciális veszteseket. Ezért elsőrendű feladat a ma még életképes közép- és nagyüzemeink nemzetközi versenyképességét, szakmai-műszaki-technológiai színvonalát javítani, a rendelkezésre álló források hatékony és koncentrált felhasználását biztosítva.

A minőségi sertéshústermelés volumenének növelése akár az export bővítése, akár a belföldi kereslet növekedése által vezérelve csak akkor lehet tartósan fenntartható, ha mai árutermelő kapacitásaink alkalmassá tehetők összességükben a nemzetközi versenyben való helytállásra. Erre leginkább ma a biológiai alapok alkalmasak, a lemaradás legnagyobb oka a műszaki-technológiai háttér leépültsége.

BAROMFITENYÉSZTÉS

- A magyar baromfitenyésztés sokoldalú, jelentős a hazai fogyasztás, és tradicionálisan számottevő az export. A hazai fogyasztás baromfihúsból enyhén növekvő lesz a következő években, és a tojásfogyasztásban is várható kismértékű emelkedés a tojás újabb vizsgálatok szerinti igen kedvező humánegészségügyi hatásai miatt. A kivitelt illetően a belátható jövőre nehezedő feltételek mellett mégis fenntarthatónak tűnik a 400-430 millió USD-t elérő export. Mértékadó becslések szerint 2002-re vágóbaromfi-termelésünk elérheti az 500 ezer tonnát, tojástermelésünk stabilizálódik a 3 milliárd darabot kissé meghaladó szinten.
- A világkereskedelem globalizálódása a baromfihús-termelésben döntően az USA állandóan növekvő szerepe miatt élesedő árversenyhez vezet, ezért baromfihús-termelésünk fejlesztésének egyetlen célja a versenyképesség növelése lehet, különben belső piacvesztéssel is számolnunk kell, döntően a pecsenyecsirke esetében.
A fejlesztés forrásait elsődlegesen az árutermelő férőhely-kapacitások műszaki-technológiai megújítására célszerű koncentrálnunk (etető-itató rendszerek, klimatizáció, ketrecrendszerek stb.), ideértve a keveréktakarmány-gyártás minőségi megújítását és minőségbiztosítását is. Ha ez nem történik meg, még kevésbé leszünk képesek a genetikai képességükben folyamatosan javuló, de igényesebb hízóállományok teljesítőképességét a gyakorlatban kihasználni, relatíve is tovább gyorsul lemaradásunk a hatékonyság vonatkozásában.
- Víziszárnyas-tenyésztésünk, különösen lúdtenyésztésünk kutatási és műszaki fejlesztésére újból számottevően nagyobb forrásokat szükséges biztosítani, annak érdekében, hogy versenyképességünket és ezáltal exportunkat fenntarthassuk.

JUHTENYÉSZTÉS

- Juhtenyésztésünk exportorientált ágazat, a hazai fogyasztás elenyésző. A belátható jövőben az EU-ban keresleti korlátozás nem sújtaná a magyar juhexportot.
- Az anyajuhállomány növelése messzemenően indokolt, a következő fél évtized során elérhető az 1,5 milliós anyalétszám, döntően hazai létszámfelesztésből, valamint célszerűen megválasztott tenyészállatimporttal együtt.
- A fejlesztési forrásokat és erőfeszítéseket a következő célok elérésére célszerű összpontosítani: a biológiai alapok fejlesztésére (szaporaság, vágási tulajdonságok), az állomány-koncentráció növelésére (legalább 300-500 anyajuh nyájanként), a tartás- és takarmányozástechnológia korszerűsítésére, a piac diverzifikálására.

NYÚLTENYÉSZTÉS

- Exportorientált ágazat lévén, döntő fontosságú az, hogy a belátható jövőben a nyúlhús piaci elhelyezhetősége az EU-ban növekvő tendenciájú. A fejlesztésnek nem látszik a piac oldaláról érdemi korlátja, mert az EU 2005-től sem lesz önellátó.
- Ösztönözni célszerű központi forrásokkal is a 100 anyánál nagyobb árutermelő telepek létrejöttét, EU-konform tartástechnológiai eszközök, berendezések telepítését.
- A nyúltenyésztés mennyiségi és minőségi fejlesztése jól kapcsolható foglalkoztatáspolitikai, szociális indíttatású programokhoz is.

HALÁSZAT, HALTENYÉSZTÉS

- A tógazdasági haltenyésztés fejlesztése érdekében elodázhatatlan állami eszközökkel is fokozottan támogatni új halastavak építését és az előregedett tavak rekonstrukcióját.
- A természetes vizek halászati és horgászati lehetőségeink fejlesztése komplex program része lehet, amely szükségszerűen érinti az agrár- és vidékfejlesztési, a környezetvédelmi, a vízügyi és idegenforgalmi területekért felelős tárcák hatásköreit.

MÉHÉSZET

- A hazai mézfogyasztás igen alacsony (0,4 kg/fő/év), ami táplálkozás-élettani szempontból is hátrányos, kívánatos lesz azt legalább 0,8 kg-ra növelni.

A magyar méz döntő része exportra kerül, a piac bővíthető. Legalább 10-15%-kal kellene növelni a méhcsaládok számát csupán azért, hogy gyümölcsöseinkben a megporzás fokozhassa a termékhozamokat.

- Kedvező hitelkonstrukciókkal indokolt támogatni különösen a vállalkozó méhészek (300 méhcsalád vagy több) korszerű technikai eszközberuházásait, és be kellene vezetni a betelelt méhcsaládok utáni támogatást, sok más ország jól bevált gyakorlatának megfelelően.
- A méhek ökológiai szempontból igen sokoldalú és pótolhatatlan funkciót töltenek be, hozzásegítve minket a biodiverzitás megőrzéséhez is, emiatt a környezetvédelmi szférának is támogatólag kellene részt vállalnia a méhészet országos fejlesztéséből.

VADTENYÉSZTÉS

- Hazánkban a nagyvadak közül várhatóan a gímszarvas, a dámvad és a vad-disznó zárt téri tenyésztésének a mainál sokkal jelentősebb szerepe lesz. Mivel ezek az ágazatok jellegüket tekintve állattenyésztési ágazatok, a fejlesztési források tekintetében legalább azonos elbírálásban részesüljenek, mint az összehasonlítható tradicionális háziállatfajok.
- A vadtenyésztési kultúra fejlesztése, a rendelkezésünkre álló potenciális lehetőségek jövőbeli kihasználása alapvetően új megközelítést igényel állattenyésztési, vadászati, erdőgazdálkodási, környezetvédelmi, valamint idegenforgalmi szempontból.

Irodalom

- Horn, P.–Schmidt, J.–Dohy, J.–Baltay, M.–Manninger, S.–Demeter, J.: Az állattenyésztés és takarmánygazdálkodás fejlesztési lehetőségei. (Összefoglaló tanulmány több részanyagra alapozva.) *Állattenyésztés és Takarmányozás*, 1998, 47, 1, 1–21.
- Horn P.: *A baromfitenyésztés helyzete és fejlesztési lehetőségei*. MTA, 1998, 25 p.
- Horváth L.–Balogh J.: *A halászati ágazat helyzete és fejlesztésének feladatai*. MTA, 1997, 16 p.
- Orbán Nagy M.: *Az állati termékek magyar exportjának lehetőségei és korlátai a jövőben*. AKII, Budapest, 1999, 122 p.
- Sajerman G.: *A hazai méhészet helyzete és kilátásai*. Magyar Méhészek Egyesülete, Budapest, 1998.
- Sugár L.: *Egyes vadfajok tartásának és tenyésztésének helyzete és perspektívái hazánkban*. MTA, 1997, 9 p.
- Szendrő Zs.–Bleyer F.–Lanszky J.: *A nyúl- és prémesállattenyésztés helyzete és a fejlesztés lehetőségei*. MTA, 1998, 27 p.
- Veress L.–Jávora A.–Lengyel A.: *A juhtenyésztés hosszútávú korszerűsítésének és fejlesztésének javaslata*. MTA, 1998, 26 p.

Állategészségügy

Az *Agrártermelés tudományos alapozása* című, a Magyar Tudományos Akadémia által irányított kutatási program *Állategészségügy* fejezete keretében tárgyalt eredmények az Európai Unióhoz való csatlakozás szakmai előkészítését szolgálják. A tanulmányok a jelenlegi helyzet elemzésén túl sorra veszik az Unióhoz való csatlakozás érdekében megoldásra váró legfontosabb állat-egészségügyi kérdéseket, feladatokat, és javaslatokat adnak ezek megoldására is. Hangsúlyoznunk kell, hogy e feladatok jelentős része régóta megoldásra vár, de az EU-csatlakozás közeledése folytán a tennivalók sürgősebbé váltak.

Az állategészségügy területén figyelembe véve az EU-val kötött társulási szerződést, az állattenyésztést és ehhez kapcsolódóan az állategészségügy jelenlegi hazai helyzetét, valamint a nekünk kereskedelmi szempontból fontos partnerek állategészségügyi helyzetét, fejlesztési irányait és az export-import tekintetében támasztott követelményeket, a fejlett országokhoz való felzárkózás, illetve a lépéstartás érdekében jelentős előrehaladást kell elérnünk az elkövetkezendő években. *A szükséges változtatásoknak, fejlesztéseknek, nemcsak a szorosan vett állategészségügyet, hanem az állati eredetű termékek előállításának, feldolgozásának és forgalmazásának az egészét is érinteniük kell, az állategészségügy ugyanis csak egy, bár alapvetően meghatározó része az állati eredetű termékek minőségének és ezen keresztül az élelmiszer biztonságának.*

Az állategészségügy terén elért legfontosabb eredmények, az elvégzendő feladatok és a javasolt megoldások az alábbiak:

Jogharmonizáció és jogkövetés

Alapvető fontosságú az állategészségügy, az élelmiszer-higiénia, az élelmiszerfeldolgozás és -forgalmazás területén az EU-val való *jogharmonizáció*. Ezt egyrészt a társulási szerződés is előírja, másrészt a kereskedelmi gyakorlat is kikényszeríti, mert az állati eredetű termékeknek csak akkor van esélyük az EU és általában a fejlett országok piacaira való bejutásra, ha az általuk támasztott minőségi, tágabb értelemben az élelmiszer-biztonsági követelményeknek megfelelnek. A jogszabályi harmonizáció számos területen már megtörtént, vagy jelentősen előrehaladt.

Így például 1997. július elsejével életbe lépett a teljes egészében újjáfgalmazott Állategészségügyi Szabályzat, amely a bejelentési kötelezettség alá tartozó fertőző betegségek tekintetében figyelembe vette az EU-jogszabályokat, a hazai helyzetet, a korábban a fertőző betegségek felszámolása, illetve visszaszorítása tekintetében elért hazai eredményeket stb. Ez az új szabályozás az időközben esetleg szükségessé váló kisebb módosítások ellenére is hosszú időre megfelelő jogi és szakmai kereteket ad a bejelentési kötelezettség alá tartozó fertőző betegségek elleni védekezéshez. *Fontos, hogy a szabályzatban leírtakat az állattartók betartsák, az Állat-egészségügyi Szolgálat pedig el tudja végezni a szükséges diagnosztikai vizsgálatokat, illetve meg tudja tenni a szabályzatban előírt lépéseket (zárlati intézkedéseket, szükség esetén az állományok felszámolását, megelőző célú vakcinázásokat, fertőtlenítések elvégzését, az elhullott állatok szakszerű ártalmatlanná tételét stb.).* Itt van a hazai állattenyésztés és állategészségügy legnagyobb problémája: az érvényes előírások be nem tartása ugyanis minden előrehaladásnak az akadálya, ha ez marad a helyzet, nem sok reményünk lehet a helyzet javulására. Sajnos nemcsak az állattartók, hanem az egész ország nagy árát fizet, ha ezen a helyzeten nem magunk, hanem majd külső nyomás (piaci kényszer vagy későbbi EU-kötelezettség) hatására változtatunk.

A szabályzatban leírtak elvégzése jelentős diagnosztikai kapacitások és egy jól működő, a gazdasági érdekcsoportoknak nem alárendelt, önálló, hatósági Állat-egészségügyi Szolgálat fenntartását teszi szükségessé. Mindez jelentős anyagi ráfordításokkal jár, működési feltételeik azonban csak részben biztosítottak (egyres bejelentési kötelezettség alá tartozó fertőző betegségek során a zárlat feloldásához szükséges diagnosztikai vizsgálatok anyagi hiányában a diagnosztikai intézetek nem tudják elvégezni, a járványmegelőző intézkedések egy része az állatok tartós megjelölésének hiánya miatt nem vagy csak igen rossz hatékonysággal hajtható végre stb.). *A bejelentési kötelezettség alá vont legjelentősebb fertőző betegségek elleni védekezési intézkedések betartását (diagnosztikai módszereket, a vonatkozó jogszabályok meglétét és azok betartásának személyi és technikai feltételeit) az EU a helyszínen ellenőrzi.* Ezek hiánya, illetve az e területen tapasztalt mulasztások jelentős gátló tényezői lehetnek állat-egészségügyi szempontból az EU-hoz való csatlakozásnak.

Nem elég azonban a jogi harmonizáció. Meg kell követelni a jogkövető magatartást, és meg kell teremteni ennek feltételeit is. Az új, magasabb követelményeket meg kell ismertetni a termelőkkel is, hogy már a termék-előállítás megkezdésekor tisztában legyenek azzal, az előállítandó terméknek milyen minőségi követelményeknek kell majd a folyamat végén megfelelniük. Ez ma még távolról sincs így, mivel a termelők túlnyomó többsége nem ismeri a követelményeket, vagy ha ismeri is, szakismeret, tőke és megfelelő felszereltség hiányában nem tudja azokat teljesíteni. Mindez rontja a megtermelt áruk piacképességét, és az esetek jelentős részében lehetetlenné teszi azok exportját. A minőségi és élelmiszer-

biztonsági követelmények figyelmen kívül hagyása nemcsak az exportot teszi lehetetlenné, hanem következményei már a hazai közegészségügyben is megjelentek (pl. emelkedő számú humán ételfertőzések).

Mentesítési programok

A bejelentési kötelezettség alá vont, illetve oda ugyan nem tartozó, de jelentős gazdasági veszteségeket okozó legjelentősebb *fertőző betegségektől való mentesítési programok* a korábbi évtizedekben egyes területeken jelentős előrelépést eredményeztek. Ezeknek a mentesítési programoknak a kezdeményezésében, kidolgozásában és megvalósításában jelentős szerepet vállalt a MTA Állatorvos-tudományi Bizottsága. A mentesítési programok az FVM Állat-egészségügyi és Élelmiszer-higiéniai Főosztálya által kiadott irányelvek, illetve ezek szakmai felügyelete mellett folytak, illetve folynak. A szakmai kérdések tisztázottak, az esetek egy részében azonban az akarat és a gazdasági feltételek (anyagi érdekeltség, a mentes státusz premizálása, illetve a fertőzött állatok, állományok vagy /és az ilyenekből származó termékek alacsonyabbra értékelése stb.) hiánya miatt *a mentesítés vontatottan halad, vagy egyes betegségek tekintetében el sem kezdődött*.

Az ország jelentős szellemi és anyagi ráfordítások árán 1980-ra megszabadult a szarvasmarha-gümőkórtól, 1985-re pedig a szarvasmarha- és a sertés-brucellózistól is. A mentesség megőrzése és fenntartása érdekében azonban (egyebek között azért is, mert a szomszédos országok egy részében ezek a betegségek még előfordulnak) fenn kell tartanunk a diagnosztikai vizsgálatokat (évenkénti tuberkulinpróba, a gyanús esetek laboratóriumi vizsgálata stb.). Folyamatban van a *szarvasmarha-leukosistól és az Aujeszky-betegségtől való mentesítés*. A szarvasmarha-leukosis elleni mentesítés néhány milliós anyagi ráfordítással egy-két éven belül befejezhető lenne. Jelenleg azonban erre nem jut pénz. Az Aujeszky-betegség elleni védekezés a Vágóállat- és Hústermék-tanács révén jelentős anyagi ráfordítással, eredményesen folyik, de az előrehaladás, lassú. Jelenleg a tenyész-sertésállomány valamivel több mint 40%-a mentes, s ez csak néhány százalékkal jobb, mint 15 évvel ezelőtt (jóval nagyobb sertésállomány mellett) volt. A jelenlegi pénzügyi támogatás fennmaradása mellett a mentesítés talán 4-5 év alatt befejezhető.

Meg kellene kezdeni a szarvasmarha fertőző rhinotracheitisétől és a vírusos hasmenéstől való mentesítést is. A szarvasmarha rhinotracheitisétől és a vírusos hasmenésétől való mentesítés – egyes gazdaságok, például a mesterséges megtermékenyítő állomások egy-egy telepe, illetve néhány nagyobb szövetkezet vagy állami gazdaság kivételével – el sem kezdődött. A szakmai elvek és a gyakorlati végrehajtás lépései tisztázottak, a munka megindulását csupán az érdekeltség hiánya és a diagnosztikai vizsgálatok magas költségei hátráltatják. A diagnosztikai költségek egy részé-

nek FVM-, illetve bármilyen más forrásból való fedezésével a mentesítésben jelentős haladás lenne elérhető. Erre évek óta ismételtelen felhívta a figyelmet az MTA Állatorvos-tudományi Bizottsága. E mentesítési programok azért fontosak, mert az EU országa a szarvasmarha-leukosistól már mentesek, a többi betegség tekintetében pedig jelentős haladást értek el, s amint egy EU-ország valamelyik fertőző betegségtől megszabadul, a mentességet követelményként előírja más országokkal szemben is, és pedig nemcsak az élő állatokra, hanem a nyers termékekre is.

A mentességi programokkal azonos fontosságú *az ország mentességének a megőrzése*, illetve a betegség megjelenése esetén a mentesség helyreállítása a ragadós száj- és körömfájástól, a sertéspestistől, a baromfipestistől, illetve egyéb nagy ragályozóképességű, a Nemzetközi Állat-egészségügyi Hivatal A-listáján szereplő betegségektől. Mindezek jelentős és permanens erőfeszítést kívánnak az Állat-egészségügyi Szolgálattól. A ragadós száj- és körömfájásra vonatkozóan elkészült az EU-val egyeztetett Készenléti Terv, és szükség esetére megfelelő mennyiségű vakcinatartalék is rendelkezésre áll. Megtörténtek megynként a szükséges járványügyi gyakorlatok is. Folyamatos e területen is a szakmai továbbképzés. Az MTA Állatorvos-tudományi Bizottsága a FVM Állat-egészségügyi Főosztályával javaslatokat dolgozott ki a sertéspestis elleni védekezés hatékonnyá tételére. A *sertéspestis* elleni védekezés jelenleg csupán igazgatási intézkedéseken alapul (a vírus behurcolásának a megakadályozása, egy esetleges góc megjelenése esetén korai diagnózis, zárlati intézkedések, a fertőzött állományok leölése, ártalmatlanná tétele, fertőtlenítés, nyomozás a fertőzés eredete után stb.), de a védekezésben előbb-utóbb szerepet kaphatnak a géntechnológiai úton előállított vakcinák is. Ezeket az oltóanyagokat idehaza is nemcsak mielőbb ki kell próbálni, *hanem lehetőség szerint az ilyen irányú kutatásokban is részt kell venni, hogy szükség esetén hazai tapasztalataink is legyenek az ilyen vakcinák értékeiről.* Az erre vonatkozó javaslatokat az MTA Állatorvos-tudományi Bizottsága a FMV Állat-egészségügyi Főosztályának megküldte, s folyik az EU-val egyeztetett Készenléti Terv kidolgozása is.

Zoonosisok (salmonellosis, veszettség)

A jövőben *kiemelten kell foglalkoznunk a zoonosisokkal, azaz azokkal a fertőzésekkel, illetve betegségekkel, amelyeknek a kórokozói az embert és az állatot egyaránt megbetegítik, illetve az állatokról az emberre és alkalmanként fordítva is áterjednek.* Ezek között különös jelentősége van a *salmonellosisoknak és a veszettségnek.*

A Salmonella-fertőzések az állatvilágban széles körben elterjedtek, ezenkívül – főleg állati eredetű élelmiszerek közvetítésével – átjutnak az emberre is. Az évente kb. 25 ezer emberi megbetegedést (mintegy 1 milliárd Ft kárt) okozó salmonellosis mintegy 80%-a állati eredetű élelmiszerektől származik. Az EU 1992-ben határo-

zott ajánlásokat jelentetett meg a legfontosabb zoonosisokról. Ezeket az ajánlásokat, jogszabályokat legkésőbb a csatlakozásig Magyarországnak is át kell vennie. Jelenleg azonban erre (a salmonellosisok és a veszettség kivételével) sem a diagnosztikai kapacitás, sem pedig a jogszabályi háttér nincsen meg.

A salmonellosisok tekintetében Magyarországon elsősorban a baromfitermékek jelentik az emberre a fő fertőzési forrást. A baromfi-salmonellosis elleni védekezésre 1995-ben egy PHARE-program keretében irányelveket állítottunk össze, amelyek alkalmasak az állományok és a termékek fertőzöttségének jelentős csökkentésére. Ez és a *Salmonella* Albizottság rendszeres működése kezdi éreztetni kedvező hatását. Anyagiak hiányában sertés-salmonellosisok csökkentésére ez ideig semmi nem történt, s a baromfi-salmonellosisra vonatkozó irányelvek is csupán ajánlások, amelyek betartása az állattartók belátásától függ. *Sürgős szükség van egy állami segítséggel és a baromfiipar elsődleges közreműködésével megindítandó Salmonella-monitoring- és redukciós programra.*

A veszettség elsősorban közegészségügyi szempontból fontos. E területen döntő eredményt hozott az FVM Állat-egészségügyi és Élelmiszer-higiéniai Főosztálya által kezdeményezett és irányított rókavakcinázás, repülőgépről leszórt csalétekbe rejtett vakcinával. A vakcinázást anyagi támogatás hiányában Nyugat-Európához képest nagy késéssel, csak 1992-ben tudtuk megkezdeni, s az 1997-től az egész Dunántúlra kiterjedt. Ennek eredményeként ezen a területen a veszettségi esetek száma nagyon jelentősen csökkent. *A róák vakcinázását mielőbb az ország egész területére ki kell terjeszteni*, ennek azonban nincs meg az anyagi feltétele. Pedig csak az ország egész területére kiterjesztett rókaimmunizálással lehet komoly esélyünk a veszettség felszámolására vagy legalábbis a nyugat-európai országokhoz hasonlóan jelentős visszaszorítására.

Termelésorientált állat-egészségügyi programok

Be kell vezetni a gyakorlatba a szarvasmarha-, a sertés- és baromfitartásban is a termelésorientált állat-egészségügyi programokat. Ilyen programot egyelőre a sertésállományok számára részben külföldi, részben pedig saját tapasztalatok alapján az Állatorvos-tudományi Egyetem szaktanszékei állítottak össze, amelyet az MTA Állatorvosi-tudományi Bizottsága is megvitatott és jóváhagyott. *A sertésállományok számára kidolgozott program magában foglalja az állományok komplex állat-egészségügyi ellenőrzését és nyomon követését a malacok születésétől kezdve vágóhídon történő levágásukig, illetve különféle termékekké való feldolgozásukig, egészen a fogyasztóig* (telepi adat-szolgáltatás, az állat-egészségügyi helyzet alakulásának a nyomon követése, a legfontosabb betegségek, azok megelőzésének lehetőségei, a takarmányok minősége, a takarmányértékesítés, súlygyarapodás, szaporodás, a vágóhídi levágást követő visszajelzés, az élelmiszer-higiéniai megítélés, az előállított termékek minősége,

maradék anyagok stb., szaktanácsadás, illetve szaktanácsadói hálózat kialakítása, továbbképzés stb.). Az ilyen komplex programok jelentősen javíthatnák a sertés és más állatfajok tenyésztésének, illetve tartásának gazdaságosságát, és hozzájárulnának az eddig elért kutatási eredmények gyakorlati hasznosításához.

Ezen programok segítségével jelentős előrehaladást kell elérni a sertések légző- és emésztőszervi betegségeinek (*Mycoplasma pneumonia*, *Actinobacillus pleuropneumoniae* okozta tüdőgyulladás, torzító orrgyulladás, sertés-dysentéria stb.) a megelőzésében, illetve az e kórokozóktól való mentesítésében. Az e betegségekre vonatkozóan az utóbbi években jelentős kutatási eredmények születtek. E betegségek területén elsősorban az ismeretek gyakorlatba való átültetése a feladat.

Kutatási és fejlesztési programok

Végül fontos lenne, hogy a szaktárca indítson kutatási- és fejlesztési programokat, pályázati alapokon, azokon a területeken, ahol a mezőgazdaság egésze és az ország hosszú távú érdekei ezt megkívánják. Állat-egészségügyi szempontból különösen az alábbiak lennének fontosak:

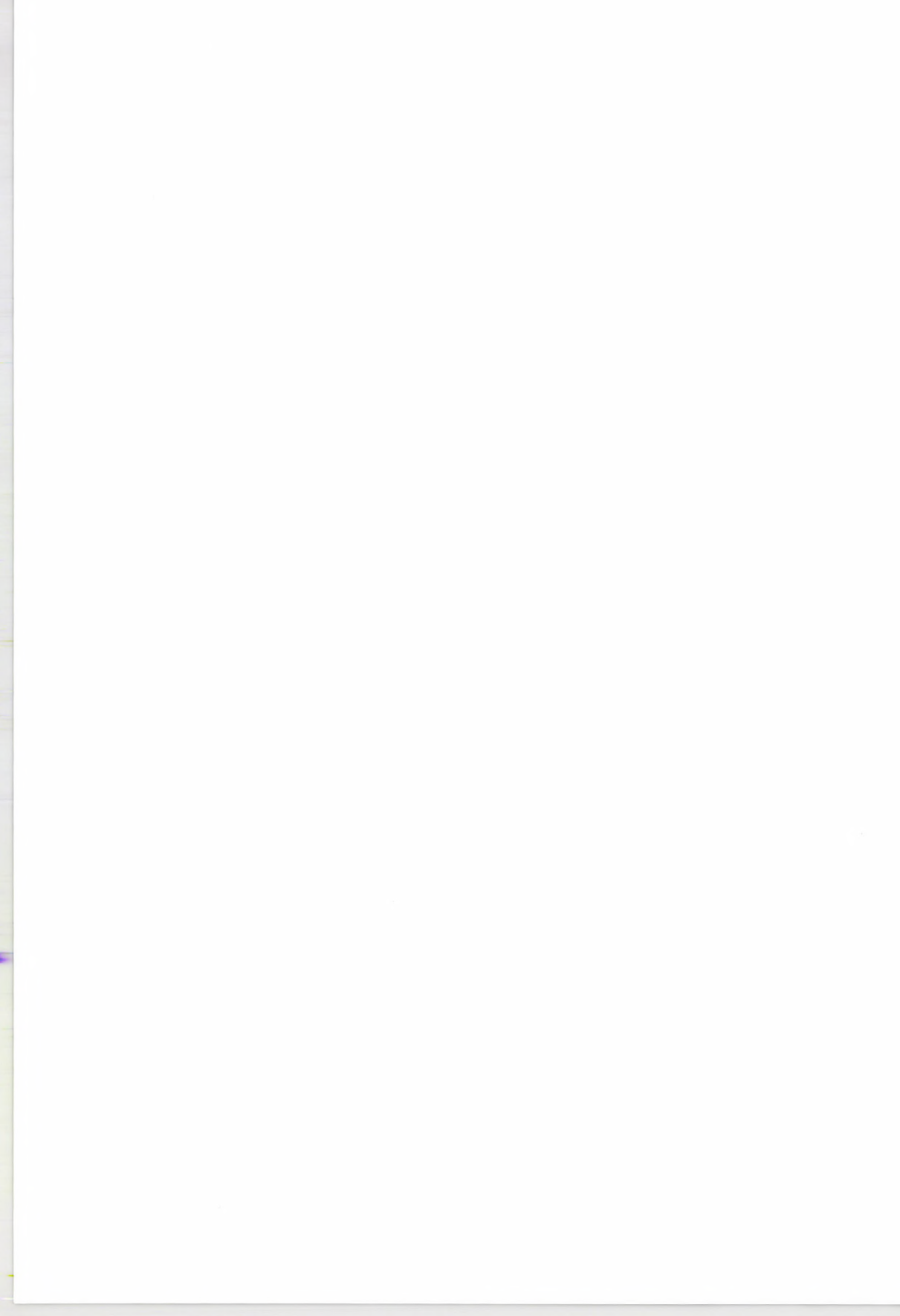
- *Modern diagnosztikai eljárások*, illetve módszerek (antigén-kimutatásra szolgáló ELISA-k, bakteriális és virális DNS-szekvenciák kimutatására szolgáló PCR-eljárás, az immunoblot eljárás alkalmazása antigének, illetve az immunválasz vizsgálatára stb.) alkalmazása a fertőző betegségek korai és gyors körjelzésére;
- *új vakcinák előállítása és a gyakorlatba való bevezetése* (alegység, megváltoztatott genetikai állományú vírustörzsek, markervakcinák, több antigént hordozó vektorvakcinák stb.);
- *egyres újonnan megjelent fertőző betegségek* (PRRS, fertőző encephalopathiák stb.) visszaszorítása, a védekezési lehetőséget tanulmányozása.

E kutatási programok nem nélkülözhetők, ha lépést kívánunk tartani az EU-országokkal. A diagnosztikai módszerek fejlesztése különösen fontos, mert ezek nélkül a fejlett országok az általunk végzett diagnosztikai próbák eredményeit nem fogadják el.

Jelentősen segítené az állategészségügyet (a mezőgazdaság más területeihez hasonlóan) az FVM és a mezőgazdasági felsőoktatási intézmények, valamint a tárca és az akadémiai kutatóintézetek közötti hivatalos kapcsolat valamilyen formában való helyreállítása, az ittlévő szellemi tőkének a csatlakozási előkészületi munkákban való kihasználása, mert jelenleg pl. az Állatorvos-tudományi Egyetem (vagy az MTA Állatorvos-tudományi Kutatóintézet) és az FVM Állat-egészségügyi és Élelmiszer-higiéniai Főosztálya között semmilyen formai kapcsolat sincs, s ennek eredményeként egymás munkájának a segítése vagy az abban való pusztá részvétel is csupán a személyes ismeretségen és a jó szándékon múlik, melyre az ország jövője szempontjából ilyen nagy jelentőséggel bíró ügyek intézését tartósan építeni nem lehet.

**AZ AGRÁRTUDOMÁNYOK
ÉS AZ ORVOSI Tudományok Osztályának
együttes ülése**

ÉLELMISZEREK A HUMÁN ÉS ÁLLATORVOSI PATOLÓGIÁBAN



A táplálékok és az élelmi anyagok felszívódását befolyásoló emésztési folyamatok, anyagok, tényezők egészséges emberekben és betegekben

A felszívódás élettani célja: a táplálékainkat és/vagy élelmi anyagainkat az emberi szervezet számára felhasználható formában tálalja. A felszívódás harmoniát követel az emberi szervezet működésében (szabályozásában), amely biztosítja táplálékainknak optimális felhasználását.

A felhasználást két alapvető tényező határozza meg:

1. A zavartalan emésztési folyamatok összessége (összhangja),
2. a táplálékok összetétele, optimális aránya, emészthetősége, elkészítési formája.

A felszívódást befolyásoló anyagok, tényezők kutatása során szakmai céljaink a következők lehetnek:

1. Értjük el a táplálékok „optimális felhasználását”,
2. fokozzuk a táplálékok felszívódását, például a vas adása esetében (amennyiben C-vitaminnal együttesen adjuk),
3. csökkentjük a táplálékok hasznosulását (például túlsúlyos egyéneknél, cukorbetegknél).

A felszívódást (és a tápanyagok) hasznosulásának fontosabb szintjei:

1. Előkészítő vagy preabszorptív fázis. Ez a fázis az egyes táplálékok előkészítését és az egyes emésztés komplex folyamatait foglalja magába.
2. Felszívódás vagy abszorptív fázis. A gyomorból, a vékony- és a vastagbélből történő tápanyagfelszívódás mechanizmusait foglalja magába.
3. A felszívódás utáni ún. posztabszorptív fázis, amelynek funkciója az, hogy a bélből felszívódott tápanyagot a megfelelő szervhez juttassa (transzportálja), tartsa a szervezetben a tápanyagokat, és végül tartsa a felszívódott anyag felhasználásának lehetőségeit a célszerv (target organ) szintjén. Ennek szakaszai:

- 3.1. transzportfolyamatok;
- 3.2. a szervezetből való vesztes mértékének mérése (vagy megítélése);

3.3. a felszívódott anyag felhasználási lehetőségei (mechanizmusai) a célszerv szintjén.

A különböző tápanyagok, illetve élelmiszerek az emésztést és a felszívódást maguk képesek befolyásolni az emésztésnek a preabszorptív fázisában, az abszorptív folyamatokban s végül a posztabszorptív fázisban. Például ha a korábban említett vaskészítményt C-vitaminnal együtt adjuk, akkor a vas háromértékű formába kerül, s így kiválóan felszívódik.

Ha az epilepsziás betegek, illetve tébécés betegek megfelelő gyógyszerelésben részesülnek, akkor a folsav receptorainak szintjén kompetíciót hoznak létre a terápiásan alkalmazott gyógyszerek, s ezáltal károsítják a folsavfelszívódást.

A posztabszorptív folyamatok módosításának típusos formája, ha az egyének vagy betegek szalicilát jellegű gyógyszert szednek (ezen anyagok erősen kötődnek a fehérjékhez), ennek következményeképpen a transzport albuminról a különböző hormonokat (valamint gyógyszereket) leszoríthatják, és ennek következményeképpen egy teljesen új metabolizmussal állunk szemben.

Természetes, hogy az említett felszívódási folyamatok lényegesen különböznek az egyes makro- (fehérje, szénhidrátok, zsír, folyadék, ásványi sók) és mikro- (vitaminok, nyomelemek) nutraciensek esetében.

A felszívódást befolyásoló preabszorptív élettani és kórélettani folyamatok együttesen érvényesülhetnek:

1. A felszívódást előkészítő fázisban (például májbetegek esetében csökken az epesav-kiválasztás, vagy krónikus pancreas-elégtelenségben csökken a lipázelválasztás. Alapvetően ezen esetekben nem a felszívódásban keletkezik zavar, hanem szervezetünk a táplálékainkat nem készíti el felszívódásra alkalmas formába (például a zsírok esetében).
2. Magában a felszívódási fázisban is nagyon komplex folyamatok érvényesülnek. A felszívódási folyamatok nagy többsége aktív transzportfolyamatokat jelent, amelyek klinikailag akkor jelentkeznek betegség formájában, ha a bél nyálkahártyáját valamilyen allergiás folyamat sorvadt állapotban tartja, vagy különböző arányokban adunk táplálékokat, amelyek egymás hatását a felszívódás szintjén gátolják (ezt kívánjuk elérni cukorbetegség esetében az ételmi rostok alkalmazásával), vagy a bélszakasz egyes részeit sebészetiileg el kell távolítani.
3. Ha a táplálék előkészítő fázisa vagy a felszívódási fázisa intakt, akkor a felszívódott táplálék hasznosulásához az effektor szerv épsége szükséges. Például hiába áll kellő mennyiségű K-vitamin a szervezet számára, ha a máj képtelen fehérjeszintézisre, és ezáltal elmarad a prothrombin-szint növekedése.

Emberben a különböző táplálékok a vékonybélből szinte teljesen hosszában felszívódnak, azonban vannak kifejezettebb felszívódási lokalizációs helyek. Ezt sematikusan az 1. táblázat mutatja. A vékonybélben kívül a gyenge savak és az

**Az egyes táplálékok felszívódásának domináns
lokalizációi az emberi vékonybélben**

Proximális	Középső vékonybél	Disztális
vas folsav	zsír zsírban oldódó vitaminok	epesavak B ₁₂
monoszacharidok – glükóz – fruktóz – D-xyloz		
Dominánsan felszívódó tápanyagok		
cukor	zsír	epesavak, B ₁₂
f e h é r j é k		

alkohol a gyomorból szívódnak fel, míg a rövid szénláncú (2-3 szénláncot tartalmazó) zsírsavak a vastagbél proximális részéből is szívódnak fel.

A különböző klinikai tesztekkel megítélhető, hogy az egyes táplálékok felszívódása normális-e vagy kóros. Ennek mérlegeléséhez mind a belgyógyászatban, mind az egyéb szakmákban (pl. gyermekgyógyászat, sebészet), mind a táplálkozástudományban járatos (speciális ismeretekkel bíró) szakembernek kell lenni. Ennek megfelelően beszélünk egészséges egyének humán táplálkozásáról vagy betegek esetében alkalmazott dietoterápiáról.

Röviden áttekintjük az emberi vékonybélből történő felszívódási folyamatok kiemelten fontos láncszemeit.

I. Preabszorptív folyamatok

1. A *fehérjék* aminosav formájában vagy oligopeptidek formájában szívódnak fel. A D formájú aminosavak immunológiailag aktívabbak, mint az L formájúak. Ennek jelentőségét az allergiás alapon létrejövő gyulladásos bélbetegségek kezelésében vélték hosszú ideig felfedezni. Emberben is igazolt, hogy az oligopeptidek formájában történő peptidfelszívódás esetében a fehérjék hasznosulása az emberi szervezet számára jobb, mint ha alkalmazásuk aminosav formájában történne. A fehérjeemésztéshez az alábbi enzimek szükségesek: pepszin, tripsin, katepsin – amelyek képződése

(elválasztása) a gyomor és pancreas működésének károsodása kapcsán károsodhat.

2. A szénhidrátok csak monoszacharidok formájában szívódnak fel. Azokat a diszacharidokat vagy poliszacharidokat, amelyek kettős vagy többes cukorláncból épülnek fel, a szervezetnek monoszacharid formájába kell átalakítania.

- A poliszacharidokat (keményítőket) az alfa-amiláz glükózra bontja;
- a maltózt a maltázenzim két molekula glükózra bontja;
- a szaharózt a szacharázenzim glükózra és fluktózra bontja;
- a laktózt a laktázenzim glükóz- és galaktózmolekulára bontja.

A szénhidrátok bontásának alapfeltétele az ép pankreas és bélnyálkahártya enzimrendszere.

A glükóz esetében nincs előkészítő fázis, hiszen a glükóz felszívódásra alkalmas monoszacharid, ezért használjuk a klinikai táplálkozás vizsgálatakor a felszívódás mértékének megítélésére referensanyagként.

3. A zsírok esetében a legbonyolultabb a preabszorptív folyamat, ugyanis a zsírokból (amelyek a zsírsavnak és a glicerinnak észterei) a pancreasban termelődő lipázenzim a zsírokat lipidszolubilis zsírsavakra és glicerinre bontja. A glicerin passzív transzport útján kerül a vérkeringésbe. A szervezet számára a lipidsolubilis zsírsavmolekulákat (zsírsavakat) vízben oldódó formába kell átvinni felszívódásuk biztosításához, melyet az epesavak végeznek az úgynevezett micellaképződés folyamatával. Mindez azt mutatja, hogy a zsírok emésztésében ép májra és ép hasnyálmirigyre van szükség, amelyeknek károsodása a zsírszékletet (steatorrhoea) eredményezi. A felszívódási zavarokban szenvedő betegek esetében a zsírszékletürítés a vezető klinikai tünet.
4. A nyomelemekről jól tudjuk, hogy szerves formában mintegy 8–10-szer jobban szívódnak fel a vékonybél különböző részeiről, mint anorganikus formában. (Konkrétan igazolták ezt a tényt a szelénium, a cink, a króm esetében).

II. A felszívódás abszorptív fázisának fontosabb folyamatai

Azokat a felszívódási folyamatokat foglaljuk össze, amelyek a bél lumenéből a táplálékot a seroza-oldalra szállítják. Ezek a fontosabb mechanizmusok az alábbiak:

- aktív transzport* (up-hill mechanizmus) (energiafüggő),
- passzív transzport* (down-hill mechanizmus) (nem energiafüggő),
- facilitált diffúzió* (koncentrációgradiens viszi át),
- pinocitózis*.

Az aktívtranszport-folyamatokat (cukor, aminosavak felszívódása) a G-strophaninnal gátolni tudjuk.

Az utóbbi időben egyre több klinikai megfigyelés szól amellett, hogy a táplálékok jelentős része aktív transzport útján szívódik fel, a facilitált diffúzióval jelzett tápanyagokból is (pl. a dumpinges betegek esetében a 75 g cukor óriási folyadék-exudációt indít meg a bél lumenében, melynek eredményeképpen hipovolémiás állapot, tachikardia és verejtékezéssel, sápadtsággal járó szimpatikus túlsúly jön létre. A bélbe történő folyadék-exudáció után viszont a beteg óriási hasmenéssel válaszol).

III. A felszívódás posztabszorptív fázisa

Ennek lényege a bélből történő felszívódás utáni tápanyag transzportja és felhasználása az egyén számára. Ezen belül külön beszélhetünk:

1. A transzport kérdéséről

- pl. a vas transzferitinnel szállítódik a szervezetünkbe a célszervhez;
- a zsírok (rövid szénláncúak esetében, ahol a szénatomok száma kevesebb, mint 8, és a hosszú szénláncúak, amelyeknél a szénláncok száma nagyobb, mint 10), a micellaképződés után a limfatikus rendszerbe kerülnek. Amennyiben a limfatikus rendszernek valamilyen vezetési zavara áll fenn, ez esetben a nyirok keringése nem biztosított, és az egyébként normális felszívódás mellett (amelyhez a fehérjék intakt felszívódása is társul), a fehérjék onkotikus tulajdonságánál fogva „visszapottyannak” a vékonybélbe. Tehát primeren nem felszívódási problémáról van szó, hanem egy az abszorpciót követő transzportfolyamat zavaráról (fehérjevesztő enteropathia). Mindez a kórkép nem jön létre az MCT (middle chain of triglycerides) alkalmazása után (a szénatomok száma 8–10, zsírsavak esetében), mivel azok direkt a portális keringésbe jutnak.

2. A táplálékok a felszívódás és a transzport után a keringésbe jutnak, azonban a különböző kóros állapotokban innen a táplálékokat elveszítjük.

- A nephrosis szindróma esetében a vizelet útján távozó fehérje (és a hozzákapcsolódó egyéb tápanyagok, gyógyszerek) mennyisége jelentősen megnövekszik. (A nephrosis szindrómában a fehérjevesztés meghaladja a 2 g/nap értéket.)
- Fehérjevesztő enteropathia (nyirokkeringési zavar). A részletekkel korábban már foglalkoztunk.
- Nagy mennyiségű tápanyagot veszíthetünk el a bőrön át (extrém fizikai igénybevételnél vagy égési sebek esetében).

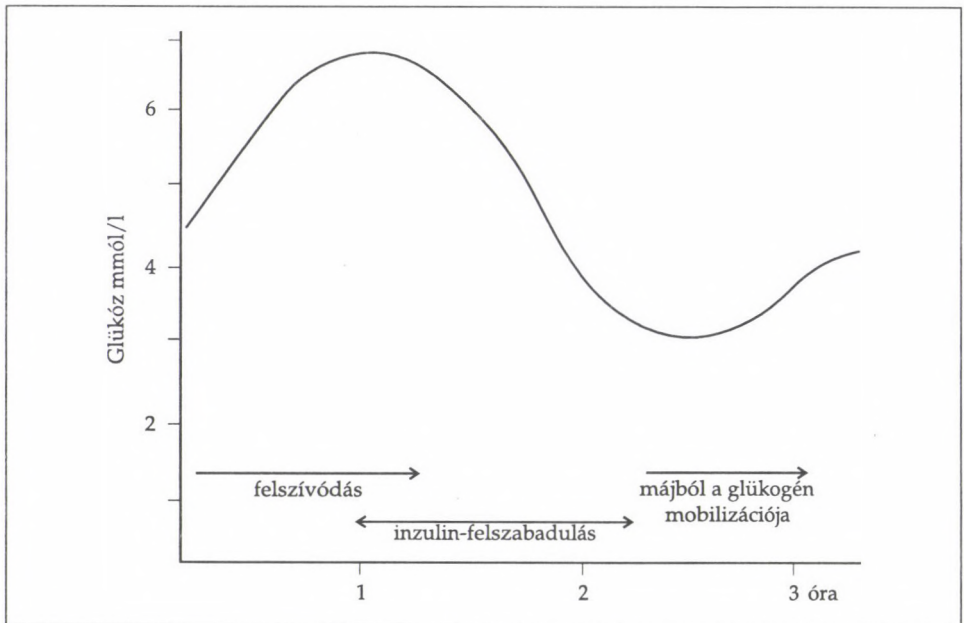
3. A felszívódott anyag hasznosítása

Ez esetekben már az illető szervnek vagy szervrendszernek a megbetegedéséről esik szó. A klinikusok által jól ismert, hogy a máj egyik központi műhelye a fehérjeszintézisnek, a lipoproteidek képződésének és a glükogéntárolásnak. Az alacsony (csökkent) szérumalbumin-szint esetében a bőséges fehérjét tartalmazó étrend biztosítása mellett nagyon lassan látunk klinikai eredményt, mivel az albumin felezési ideje 3 hét.

– Krónikus májbetegségek esetében – a máj szerkezetének átépülése következtében – a glükogéntárolás jelentős mértékben csökken. Ez pedig azt jelenti, hogy spontán hipoglikémiák léphetnek fel, illetve cukorterheléses próbák esetében hipoglikémiás marad a beteg.

– A vasanyagcsere vonatkozásában egyik fontos szervünk a csontvelő. A vashiányos betegek esetében a vaskezelés alkalmazásának minimális ideje 3 hónap, mivel a vas csak a *de novo* sejtek képződését tudja fokozni.

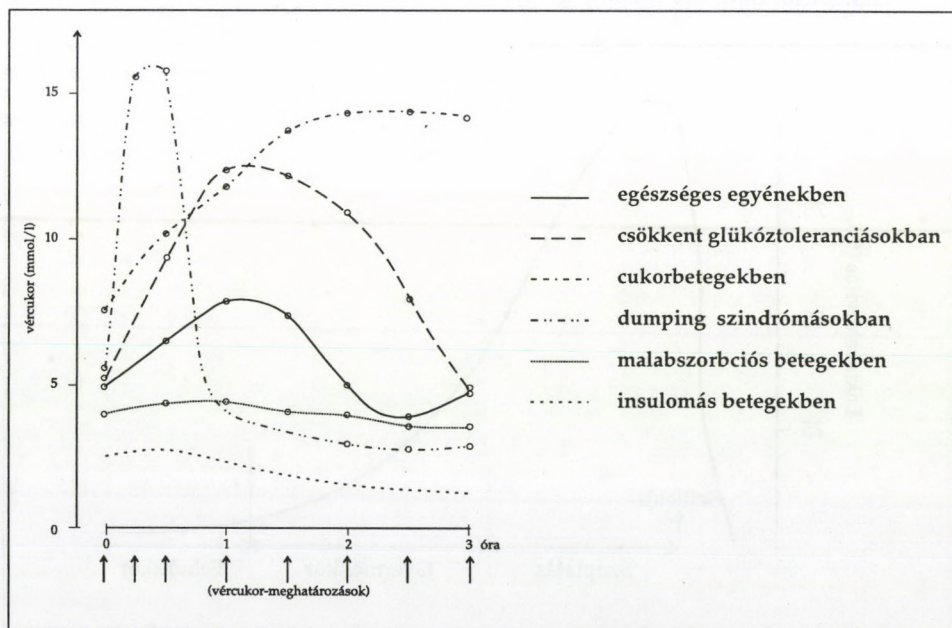
A vörösvértestek élettartama átlagosan (egészséges egyénekben) 120 nap. Amennyiben a csontvelő képtelen vérképzésre, akkor hematológiai kórképekkel kell számolni.



1. ábra. Az orálisan alkalmazott, 75 g cukorral végzett glükóztérheléses vizsgálat ideje alatt érvényesülő fontosabb mechanizmusok

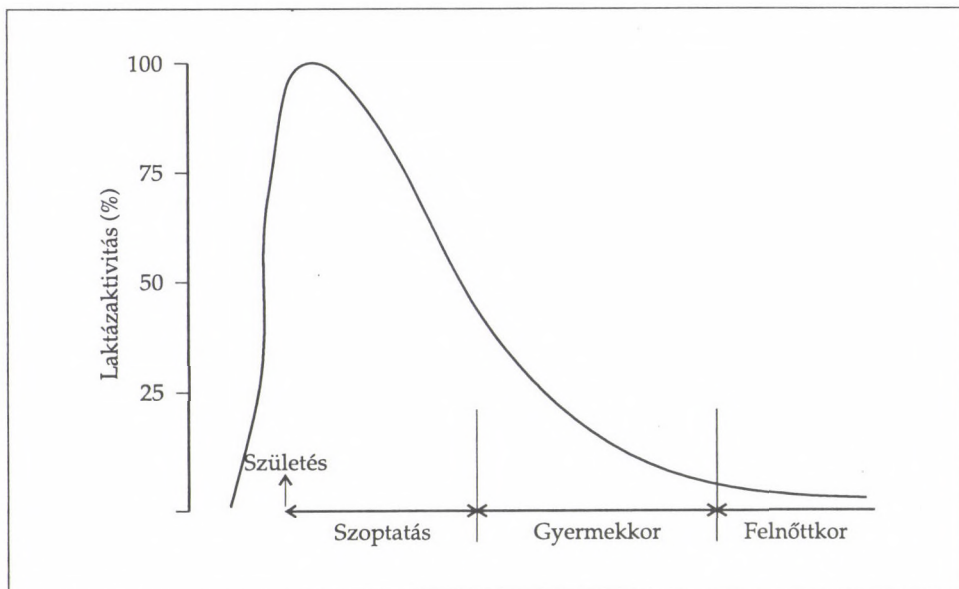
A mindennapi klinikai gyakorlat számára néhány táplálékhatás tesztelésére alkalmas biológiai próbát mutatunk be.

– A WHO ajánlása szerint a cukorterheléses vizsgálatokat egységesen 75 g glükóz orális adásával végezzük. Amennyiben a vércukor-meghatározásokat elvégezzük, akkor egy típusos esetben 3 szakaszra választhatjuk a terheléses görbe válaszát: 1. az első másfél óra a cukorfelszívódásra vonatkozik; az 1–2,5 óra közötti periódus az inzulin-felszabadulásra, és végül a 2,5–3 óra múlva a májból történő glükogénmobilizációt jelzi (1. ábra). Az említett szakaszok lehetőséget adnak arra, hogy a glükóz felszívódásán (amelynél nincs előkészítő fázis) különböző táplálékok, gyógyszerek, fiziokémiai folyamatok változásait tesztelni tudjuk. Amennyiben ételmi rostot adunk, úgy a cukorfelszívódás csúcsértéke csökken, és ezzel csökkenthetővé válik a májból való glükogénmobilizáció mértéke. Amennyiben intrinsic szimpatikus aktivitással (ISA) rendelkező béta-blokkolót adunk az egyéneknek, akkor ezt a típusos görbét fogjuk megkapni, mivel az ISA-aktivitással rendelkező béta-blokkolók először ezt a szimpatikus izgalmat fokozzák, s ezt követően blokkolják az adrenerg idegrendszeri funkcióját (ennek az lesz eredménye, hogy a májból a glükogén jól mobi-



2. ábra. Cukorterheléses vizsgálatok egészséges egyéneknél és különböző betegségekben szenvedőkben

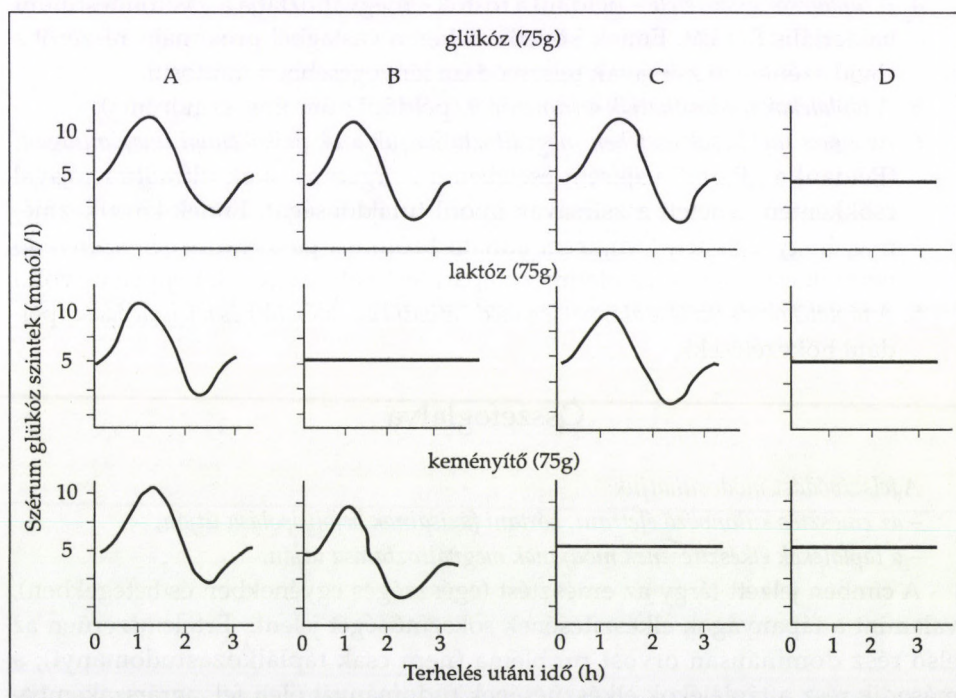
- lizálódik). Amennyiben viszont típusos béta-blokkolót adunk (amelynek nincs ISA-aktivitása), akkor ezt a szimpatikus aktivitást elfedjük, és hipoglükémiát okozhatunk. (Krónikus májbetegségek esetében, ahol a portális hipertónia következtében ascites alakult ki, ott a portális nyomás csökkentésére béta-blokkolót adunk terápiásan.)
- Néhány típusos cukorterheléses görbét mutatunk be egészséges egyének és különböző betegségekben szenvedők esetében. Az ábra bal oldali része jól mutatja, hogy valóban itt cukorfelszívódásról van szó az első periódusban. Kiemelendő, hogy dumping szindrómás (a gyomor sebészeti csonkolása utáni) egyénekben igen gyors a cukorfelszívódás, ha a betegek a cukrot álló testhelyzetben fogyasztották el. (Ekkor ugyanis a cukor bezuhan a vékonybélbe.) A malabszorpciós betegekben viszont a cukor szintje gyakorlatilag változatlan marad. (2. ábra).
 - Magyarországon a laktózintoleráns egyének száma korábbi méréseink alapján (25 g laktózterhelés mellett) a felnőtt lakosság mintegy 10%-át adja. Amennyiben gasztroenterológiai kórképekben végezzük el a vizsgálatokat, úgy mintegy 40-50%-nyi pozitivitást észlelünk.
- Az élet folyamán a laktóz lebontásához szükséges bélbeli laktáz aktivitása jelentősen változik (lásd 3. ábra).



3. ábra. A laktázaktivitás változása az életkor függvényében egészséges egyénekben

A laktáz mint enzim tükrözi az ember számára felkínált szubsztrált mennyiségét. Ha valaki tartósan nem fogyaszt tejet, akkor „átmeneti laktózintolerancia” jön létre, amely azonban lehet reverzibilis folyamat (adaptív enzimindukció). A részletek mellőzése nélkül viszont tudjuk, hogy a laktózintoleranciát számos genetikai faktor (háttér) is meghatározza.

– A 4. ábra differenciálási lehetőséget kínál számunkra, hogy a szénhidrát felszívódásának milyen formájával állunk szemben. A terheléses vizsgálatok során az egyének valamennyi esetben 75 g glükózt, laktózt és keményítőt kaptak. (Az ábra sematikus.) Az A része mutatja, hogy mind a felszívódás (bél- és hasnyálmirigy), mind az előkészítési fázis ép. A B oszlopsor azt mutatja, hogy a keményítőt bontás zavartalan, azonban a laktóz a bél szintjén nem tudott elbomlani (laktózintolerancia típusos esete). A C csoport azt mutatja, hogy a felszívódás és a bélben történő laktózbon-



4. ábra. A glükózzal, laktózzal és keményítővel (egységesen orálisan, 75 g dózisban alkalmazva) végzett terheléses vizsgálatok egészséges egyéneken (A), laktózintoleráns egyéneken (B), krónikus pancreas-elégtelenségben szenvedőkön (C), valamint súlyos preabszorptív és abszorptív károsodásokban szenvedő egyéneken (D)

tás intakt, azonban a keményítőből nem alakul ki a glükóz (pancreas-elégtelenség). Végül a D csoport azt mutatja, hogy mind a felszívódás, mind az előkészítő fázis zavart (sprue).

A különböző táplálékok, valamint azonos táplálékok különbözően elkészített formái képesek az emésztés és a felszívódás különböző szakaszain felszívódásukat befolyásolni:

1. *Ozmotikus hatás.* Ennek kitűnő példáját lehetett látni a dumping-szindrómás betegek esetében.
2. *Kelátképzés.* (Fitatok, antacidák + vas). Az említett anyagok nem kémiai jellegű kötésben gátolják a vas felszívódását.
3. *Az abszorpciógátló hatás érvényesül az élelmi rostok alkalmazása esetében,* amely jellegénél fogva dominánsan preabszorptív gátlást jelent, de természetesen szerepel benne abszorptív és posztabszorptív komponens is.
4. *A táplálékok összetétele* – például a rostok – megváltoztatja a gastrointestinalum bakteriális flóráját. Ennek következtében a vastagbél proximális részéről a rövid szénláncú zsírsavak felszívódása lényegesebben módosul.
5. *A táplálékok módosíthatják a tranzitidőt* (például dumping-szindróma).
6. *Az egyes táplálékok esetében megváltoztathatjuk azok fizikokémiai tulajdonságait.* (Például a „Party” vajkrém esetében a zsírgömböcskék ultrafiltrációjával csökkenteni lehetett a zsírsavak lipofil tulajdonságát. Ennek következménye, hogy a „Party” vajkrém adható krónikus pancreatitisben szenvedő betegek esetében is (az élelmiszer-ipari technológiai feladat éppen ez volt.)
8. *A táplálékok elkészítése alapvetően módosíthatja az emésztést és a felszívódást* (például hőkezelések).

Összefoglalva

A felszívódást módosíthatjuk:

- az emésztés különböző élettani, kórtani fázisainak befolyásolása útján,
- a táplálékok elkészítésének módjának megváltoztatása útján.

A címben jelzett tárgy az emésztést (egészséges egyénekben és betegekben), valamint a tápanyagok elkészítésének sokszínűségét jelenti. Értelemszerűen az első rész dominánsan orvosi probléma (nem csak táplálkozástudományi), a második rész a táplálékok elkészítésének tudományát öleli fel, agrárszakemberek, az élelmiszeripar, élelmiszer-minősítő ipar szakembereinek szakismereteit.

A felsorolásszerűen említett felszívódás-befolyásoló anyagok és tényezők tanulmányozására orvosoknak, agrár- és élelmiszer-szakembereknek együtt kell dolgozniuk. Az egyes táplálékok emberi minősítéséhez mindenképpen hozzátartozik egy olyan szakember-garnitúra kinevelése, amely képes a „metabolic ward” rendszerét létrehozni és szakszerűen működtetni. A „metabolic ward” csupán fekvőbeteg-intézetek-

ben kerülhet elhelyezésre, hasonlóan a világban (és hazánkban is) jól működő klinikai farmakológiai hálózathoz. A „metabolic ward” létrehozásának célja és feladata az egyes táplálékok humántáplálkozás-tudományi és klinikai dietetikai, nemzetközi szabályoknak megfelelő (Food and Drug Administration FDA) minősítése (a fázis I–IV vizsgálatok kivitelezésének szakmai kívánalmainak megfelelően). Hazánkban jelenleg ilyen nomizált intézet (intézmény) nem működik. Ilyen nemzetközi szakmai kihívás megoldására egyedül a Központi Élelmiszer-kutató Intézet (KÉKI), illetve az Országos Élelmiszer- és Táplálkozástudományi Intézet (OÉTI) – klinikai háttér hiányában – nem alkalmas (lásd a gyógyszeripar analógiáját). Klinikai táplálkozástudományi hálózat létrehozása nélkül nem érhetünk el tartós és tudományosan megalapozott táplálkozási sikereket. Ennek megvalósítása „közös célunk”, elmulasztása „közös felelősségünk”.

Irodalom

- Berlitz, H. D., Grosch, W.: *Food Chemistry*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Paris, London, Tokio, 1987, 774 p.
- Figler M., Mózsik Gy.: *Élelmiszerek és élelmi anyagok klinikai minősítése*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1998, 105 p.
- Mózsik Gy., Jávorsky T., Szakály S. (szerk.): *A táplálkozástudomány helyzete és feladatai Magyarországon 1981*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1983, 797 p.
- Ruzsa, Cs., Jávorsky T., Mózsik, Gy. (eds.): *Research on Dietary Fibres*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1986, 310 p.

FIGLER MÁRIA, MÓZSIK GYULA

Az emberi test összetétele kóros állapotokban Elhízás és alultápláltság

Bevezetés

Az egészséges emberi test összetétele meglehetősen állandó, 72% körüli víz, 12–25% zsír, 10–16% izomtömeg alkotja. Az ember testösszetételét vizsgáló módszerek korlátozottak. A direkt módszereket (antropometria, bőrredővastagság mérése) főleg epidermológiai tanulmányokban alkalmazzák, mivel kevésbé megbízhatók. A testösszetétel indirekt meghatározása az 1940-es években kezdődött el. Ezek a legpontosabb technikák, de meglehetősen drágák. Mindkét vizsgálati módszer két alapvető dologon alapul: a test két kémiaiilag elkülöníthető részre (zsír és zsírmentes testtömeg) vagy négy összetevőre (víz, protein, lipidek, hamu) bontható.

A régi módszerek megalapozottabbnak tűnnek, míg az újabb szisztémákat befolyásolják az éppen aktuális hipotézisek és a technológiák fejlődése. Az a jó módszer, amelyik olcsó, csak kis kényelmetlenséget okoz a vizsgált személynek, nem igényel nagy szakértelmet, a reprodukálhatósága magas, és pontos eredményt ad.

Jelenleg nincs olyan elérhető módszer, amely ezeket a szigorú követelményeket kielégíti. A klinikai gyakorlatban két szélsőséges állapotban feltétlen szükséges ismernünk a test összetételét, az elhízásban és a kóros lesoványodásban, alultápláltságban. Mindkét állapot jelentőségét növeli az a tény, hogy tartós fennállásuk halálos szövődmények kialakulásához vezethet.

Az elhízás

Az elhízás és a túlsúly a felhasználáshoz viszonyított többletenergia-felvétel és annak káros hatásai az energiafelvétel károsodott magatartási és pszichológiai szabályozásából erednek, amely képtelen alkalmazkodni a korunk ipari társadalmában fogyasztott ízletes és energiadús táplálékhoz.

Számos vizsgálat mutatott ki pozitív korrelációt a táplálékok zsírtartalma és a túlsúly mértéke között. Úgy tűnik tehát, hogy a táplálék zsírtartalmának növekedése túlsúlyhoz és elhízáshoz vezet. Az elhízás BMI (body mass index, testtömegindex) alapján történő definiálását tekintve az irodalom nem teljesen egységes, számos vizsgálat azonban igazolta, hogy jó mutatója a test zsírtartalmának, illetve az obesitásnak. Garrow 1981-ben az elhízás mérésére a következő osztályozást javasolta a BMI-érték alapján:

0 (nem obes)	= 20,0–24,9 kg/m ²
I. (kissé obes)	= 25,0–29,9 kg/m ²
II. (súlyosan obes)	= 30,0–40,0 kg/m ²
III. (végesen obes)	= > 40,0 kg/m ²

A valódi elhízás azonban minden esetben a test összetételének megváltozását jelenti, vagyis megnövekszik a zsírszövet mennyisége, az egyéb szövetek rovására. Az elhízás diagnózisának felállítása, az elhízottság mértékének becslése tehát a zsírszövet mennyiségének meghatározásán alapul.

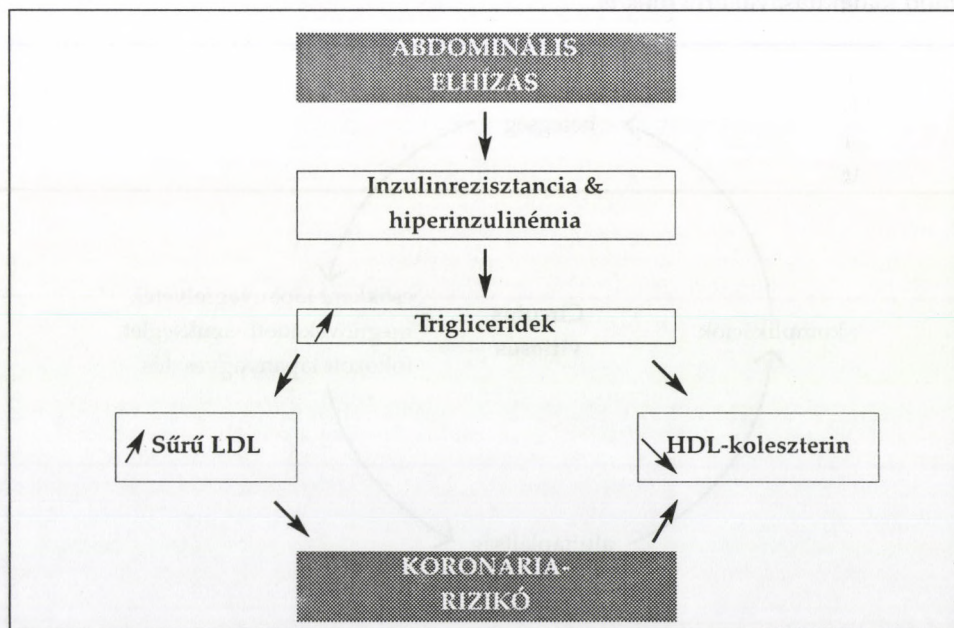
Vague volt az első, aki 1947-ben feljegyezte megfigyeléseit az abdominalis (felsőtesti vagy android) elhízású egyének azon tendenciájáról, amely, ellentétben a gluteofemoralis (alsótesti vagy gynoid) elhízottsággal, diabéteszt, kösvénnyt és ateroszklerózist fejleszt ki. A testzsíreloszlás klinikai jelentőségének bizonyítékát kezdetben az antropometrikus adatokat a megbetegedéshez és az elhalálozásokhoz viszonyító epidemiológiai tanulmányokra alapozták. Újabban a zsíreloszlás pontosan meghatározó kifinomult technikákat biokémiai kutatásokkal ötvözték, hogy megvizsgálják azokat a metabolikus tényezőket, amelyek a rizikóban lévő különbségek alapjául szolgálnak. Larsson és munkatársai 792 középkorú férfinál végeztek el egy 13 éves prospektív tanulmányt a kardiovaszkuláris rizikófaktorokról. Tanulmányozták az elhízás mértéke és a mortalitás közötti kapcsolatot. Az egyetlen elhízásban használt mutató, amely a vaszkuláris rizikóval korrelált, a derék–csípő arány volt, amely valójában a hasi zsírtöbblet mutatója. A derék–csípő arány szignifikánsan korrelált a három végponttal, stroke-kal, iszkémiás szívbetegséggel és a bármely okból bekövetkező halállal. Ez volt az első nyilvánvaló kimutatása annak, hogy a kardiovaszkuláris rizikó szempontjából fontosabb a zsíreloszlás, mint maga a túlsúly foka. Larsson megfigyeléseit azóta más tanulmányok is megerősítették.

További tanulmányok kimutatták, hogy a zsíreloszlás összefüggésben van a plazma-inzulinszintekkel és a glukóztolerancia-tesztre történő reakcióval. Nyilvánvalóvá vált, hogy a zsírtopográfia fontosabb, mint az elhízás egymagában, tekintettel a fokozott kardiovaszkuláris rizikóra. Emellett bebizonyosodott, hogy a vizsцерális zsír-akkumuláció szoros kapcsolatban van a metabolikus zavarok egy csoportjával, beleértve az inzulinrezisztenciát, hiperinzulinémiát, glukóz-intoleranciát, hipertrigliceridémiát, megemelkedett apo- β -szinteket, a sűrű LDL-

(low density lipoprotein) részecskék megnövekedett arányát és a HDL (high density lipoprotein) koleszterin-csökkenését (különösen a HDL₂ szubfrakciót), melyek közül mindegyik a kardiovaszkuláris betegség rizikófaktora. Ezt a csoportot először Reaven írta le, és inzulinrezisztancia-szindrómának vagy X-szindrómának nevezte el (1. ábra). A szindrómát azóta kiterjesztették más tényezőkre is, és valószínűleg a metabolikus szindróma jobb elnevezés. Egyre több bizonyíték van arra, hogy a viscerális zsír alapvető szerepet játszik, és valószínűleg okozati szerepe van ebben a szindrómában, bár a viscerális elhízás metabolikus következményeit minden bizonnyal módosítják a genetikai tényezők is.

A viscerális elhízás metabolikus változásáért felelős mechanizmusokat számos kutató tanulmányozta, bebizonyosodott, hogy a morfológiai, hormonális és metabolikus tényezők összetettek.

A viscerális abdominális zsírnak magas lipotitikus potenciálja van, és szabad zsírsavakat bocsát a hepatikus körforgásba. A portális szabad zsírsavak hepatikus lipoprotein-szintézist és -kiválasztást, valamint glukoneogenezist eredményeznek, emellett a portális szabad zsírsavak magas szintjei elnyomják a hepatikus inzulinfelvételt, amely perifériás hiperinzulinémiát idéz elő. Perifériásan a plazma posztheparin-lipoprotein-lipáz-működése csökkent, míg a hepatikus triglicerid lipáz emelkedett. Ezek a kölcsönös változások csökkentik a



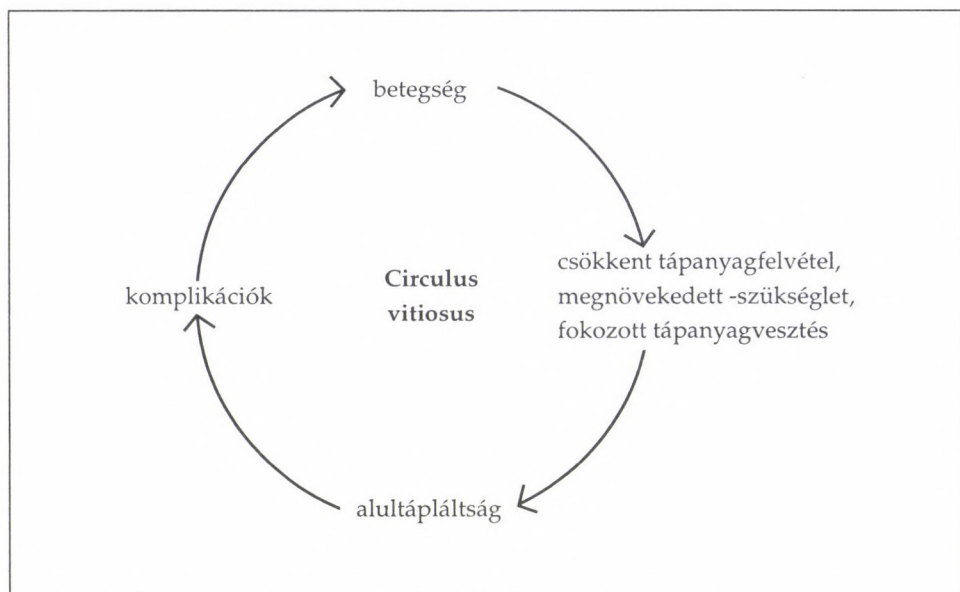
1. ábra. Az elhízással kapcsolatos metabolikus zavarok (Reaven nyomán)

triglicerid-gazdag lipoproteinek katabolizmusát. Az előbbi hozzájárul a HDL prekursorok csökkent termeléséhez és az utóbbi a HDL₂ fokozott lebontásához. Ezek a mechanizmusok megmagyarázhatják az abdominális elhízott pácienseknél talált diszlipidémiát és hiperinzulinémiát.

A viszcerális zsírszövet metabolikus jellemzői és annak elhelyezkedése hozzájárulhat egy aterogén metabolikus profilhoz. Bőséges bizonyíték van arra, hogy a viszcerális abdominális zsír csökkentése nagyobb prioritás a túlsúlyos és elhízott páciensek kardiovaszkuláris rizikójának kezelésében.

A túlsúlyhoz és elhízáshoz a májban és a perifériális szövetekben kialakuló inzulinrezisztencia társul. Ez az inzulin magas perifériás szintjeit eredményezi a csökkent hatékonyság pótlására. Sok esetben a hiperinzulinémia nem tudja ellensúlyozni az inzulinrezisztenciát, ezáltal károsodott glukóztoleranciához vezet, következésképpen a tartósan magas vércukorszint a hasnyálmirigy béta-sejtjeinek károsításával diabéteszt okoz. A hiperinzulinémia általános tünet azoknál az elhízott betegeknél, akiknek a kardiovaszkuláris rizikófaktorprofilja kóros.

Mindezek alapján az egészségügyben és a társadalomban egyre nagyobb figyelmet kell szentelnünk az elhízás, különösen a hasi típusú elhízás megelőzésére, a kövérek kezelésére, testösszetételük normalizálására elsősorban a lerakódott hasi zsír megszüntetésére, amelyet helyes táplálkozással és megfelelő életmód kialakításával érhetnek el.



2. ábra. Az alultápláltság következménye

Az elhízás és a túlsúly kezelésének ésszerű megközelítése a bevitel csökkentését célzó élettani folyamatok megerősítése, amely képessé teszi a beteget a fogyókúra megtartására.

Alultápláltság

Az alultápláltság olyan tápanyaghiány-állapot, amely a betegségek következményeként alakul ki. Az alultápláltság okai közül a tápanyagfelvétel csökkenése, a csökkent étvágy, a gasztrointesztinális rendszer obstrukciói, mentális problémák, anorexia nervosa miatt, a tápanyagigény növekedése komoly akut és krónikus betegségek, sugárterápia, kemoterápia, sebészeti beavatkozások után alakul ki.

A kóros tápanyagvesztés tápanyag-felszívódási problémák, hányás, hasmenés, fisztula, bőrön keresztüli veszítés (égés, felfekvés), sztóma, komoly vérvesztés, vizelettel történő veszítés miatt következik be.

Az alultápláltság kialakulhat krónikus formában, amelynek oka a krónikus betegségekben észlelhető csökkent anabolizmus, ami kombinálódhat a tápanyagigényhez képest elégtelen táplálékbevitellel, zsírvesztéssel. Hosszabb idő alatt alakul ki, hónapok, évek alatt.

Az akut forma oka az akut betegségekhez vagy súlyos sebészeti beavatkozáshoz társuló felfokozott katabolizmus, fehérjevesztés (az izomtömeg elvesztése), amely rövid idő alatt (napok, hetek alatt) alakul ki.

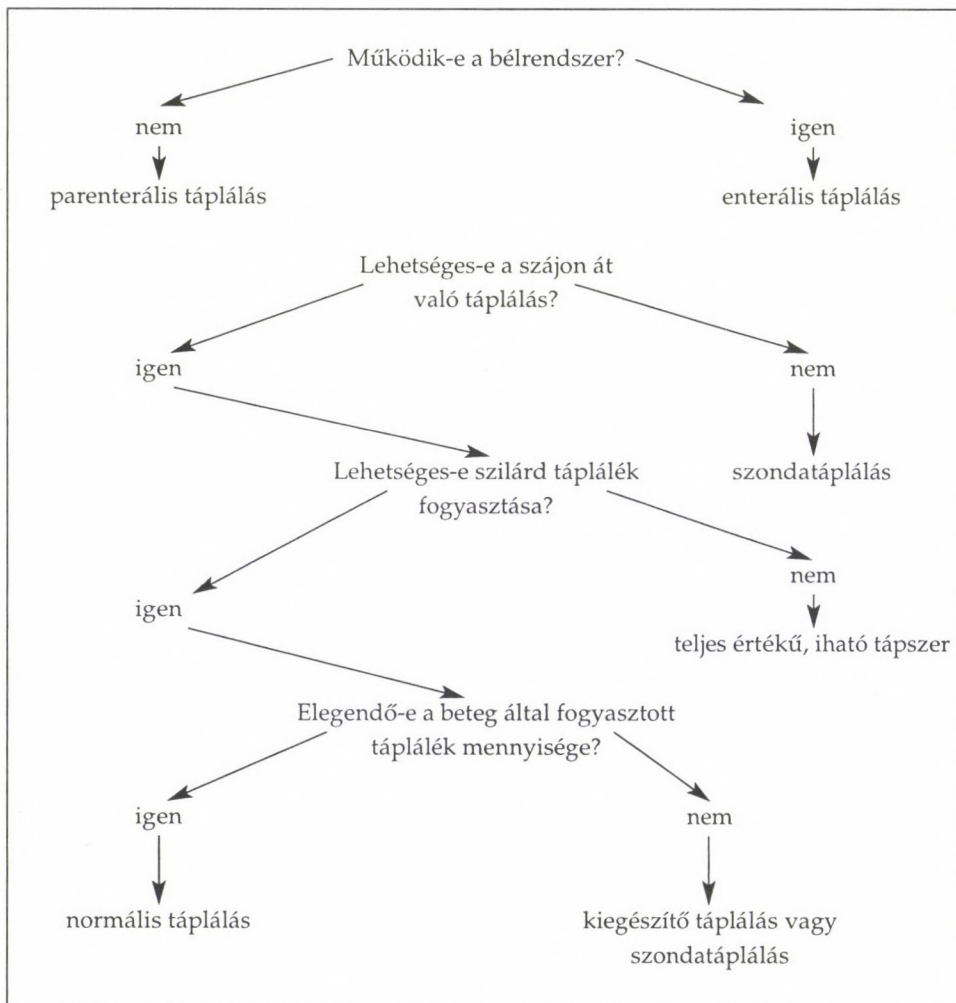
Az akut és krónikus forma kombinációja, a kevert forma oka a nem kezelt krónikus klinikai leromlás, kísérve egy akutan fellépő betegséghez vagy sebészeti beavatkozáshoz társuló felfokozott katabolizmussal, például: zsírvesztés (krónikus), fehérjevesztés (akut). Az alultápláltságra a súlyvesztés, étvágyromlás, sápadt bőr, vékony, beesett arc, ödéma, a szérumfehérjeszint csökkenése hívhatja fel a figyelmet (albumin-, hemoglobin-, transferrin-, limfocytaszám).

Az alultápláltság következtében súlyos komplikációk léphetnek fel, amelyek a beteg általános állapotának rosszabbodásában, csökkent ellenálló képességben s emiatt fokozott infekcióveszélyben, a gyógyszeres kezeléssel szembeni csökkent toleranciában, a bőr állapotának romlása következtében elhúzódó sebgyógyulási hajlamban és fokozott dekubitusz-hajlamban, a tápanyag-felszívódási zavarokban, a csökkent izomerőben, a posztoperatív komplikációkban és a fatális kimenetel megnövekedett rizikójában, elhúzódó kórházi tartózkodásban, a növekvő gyógyítási költségekben nyilvánulhatnak meg.

A beteg olyan ördögi körbe jut (2. ábra), amelynek megszakítása a gyógyító orvosok feladata, egy ésszerű döntési grafikon alapján, amely lehetővé teszi a tápanyaghiány legmegfelelőbb korrekcióját, a testösszetétel normális irányba történő megváltoztatását s így a mielőbbi gyógyulást (3. ábra).

Összefoglalás

Az egészségügyre egyre növekvő terhet ró, mindinkább általánossá válik a világ számos részén és mind nagyobb közegészségügyi és gazdasági problémát képvisel a túlsúly és az elhízás. Sürgető szükség van kezelésük új megközelítéseire, hiszen az elhízás és a túlsúly orvosi kutatási során bebizonyosodott, hogy az abdominális elhízás kulcsfontosságú a kardiovaszkuláris betegségek rizikójában, amelyek ma Magyarországon vezető halálokok. A helyes táplálás hiányából szár-



3. ábra. Az alultápláltság megszüntetésének döntési grafikonja

mazó klinikai leromlás, alultápláltság állapota az ápolási idő megnyúlásával, a szövődmények gyakoribbá válásával, a halálozási ráta növekedésével szintén jelentős erkölcsi és anyagi terhet jelent egészségügyünknek.

Az élettani szempontból kifogástalan, kiegyensúlyozott táplálkozás vagy a súlyos betegek megfelelő klinikai táplálása jelentős szerepet tölt be az emberi test egészséges összetételének megőrzésében, számos betegség megelőzésében, a munkaképesség fenntartásában. Ezáltal mérsékli az egészségügyi ellátás terheit, javítja az emberek életminőségét.

Rövid szénláncú monokarbonsavak hatása a bél mikroflórájára, az emésztőcső nyálkahártyájára és egyes tumoros sejtekre

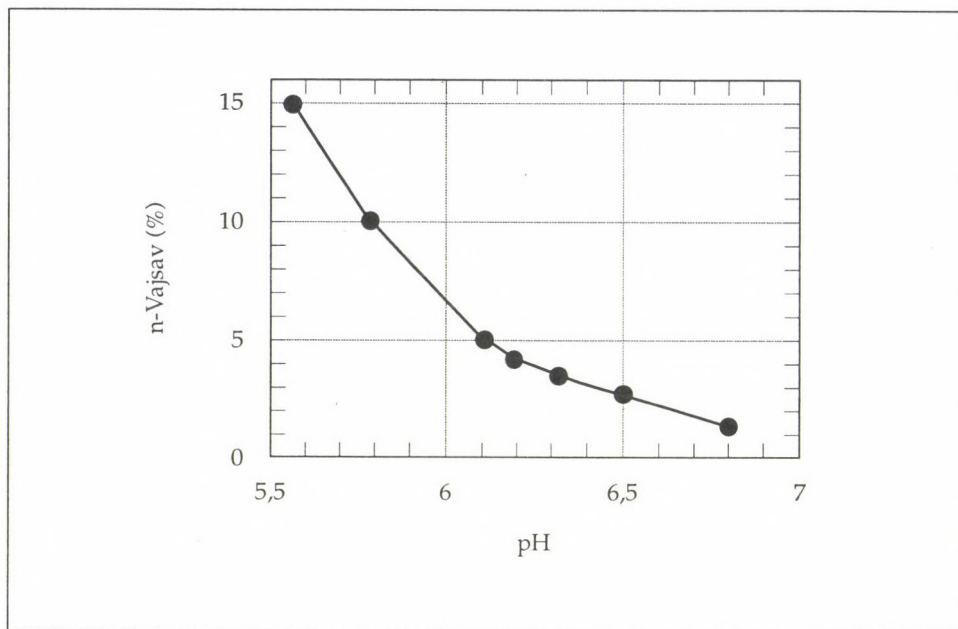
A rövid szénláncú monokarbonsavak (ecetsav, propionsav, vajsav) az emésztőcső anaerob fermentációját biztosító szakszaiban keletkeznek. A fermentáció kiindulóanyaga túlnyomórészt szénhidrát (cellulóz, ami az eukarióta sejtek számára celluláz hiányában hozzáférhetetlen), a keletkező rövid szénláncú monokarbonsavak viszont számos eukarióta sejt számára tápanyagforrássul szolgálnak. (Pasteur 1861-ben már megemlíti, hogy a tejsavas erjedés során anaerob körülmények között vajsav keletkezik.) A rövid szénláncú monokarbonsavak szerepe sokrétű: szabályozzák az emésztőcső mikroflórájának összetételét, az emésztőcső falát alkotó sejteknek és a szervezet egyéb sejtjeinek osztódását.

A rövid szénláncú monokarbonsavak hatása a bél mikroflórájára

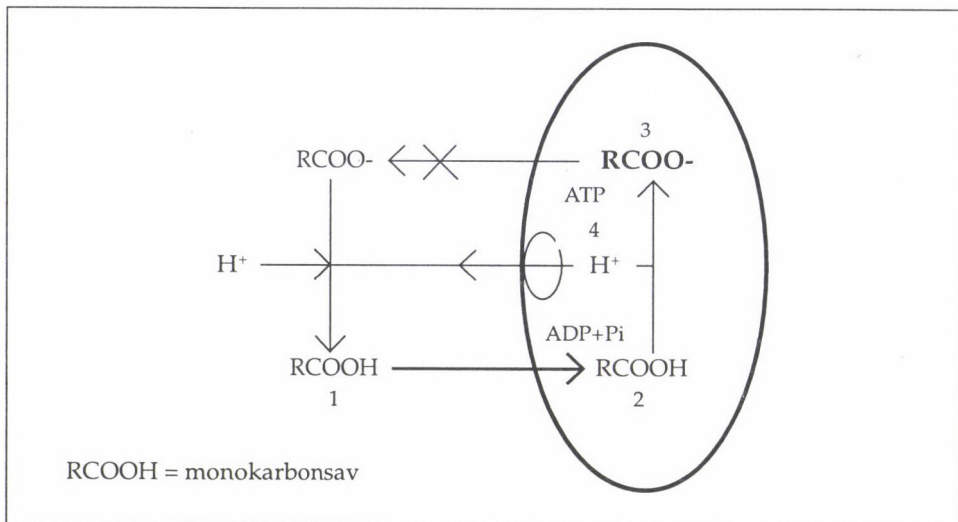
A rövid szénláncú monokarbonsavak aktivitását a környezet pH-értéke jelentősen befolyásolja. Ez avval magyarázható, hogy csak a disszociálatlan molekula lipofil, míg disszociálva lipofilitását elveszti, ezáltal a lipidekben gazdag sejtfalon való átjutása korlátozott mértékű. Az 1. ábra a vajsav disszociációját mutatja az emésztőcső egyes szakaszaiban (rumen, colon) előforduló pH-értékek mellett.

A vizsgálatok kimutatták, hogy azok a baktériumok, melyek az extracelluláris pH-csökkenésre intracelluláris pH-jukat csökkentik (például *Lactobacillus*) monokarbonsav-rezisztensek, míg az erre nem képes baktériumok szenzitívek (*E. coli*, *Salmonella* fajok stb.) Ennek oka a monokarbonsav disszociációjában és a disszociált és nem disszociált molekula lipofilitásában kereshető (2. ábra).

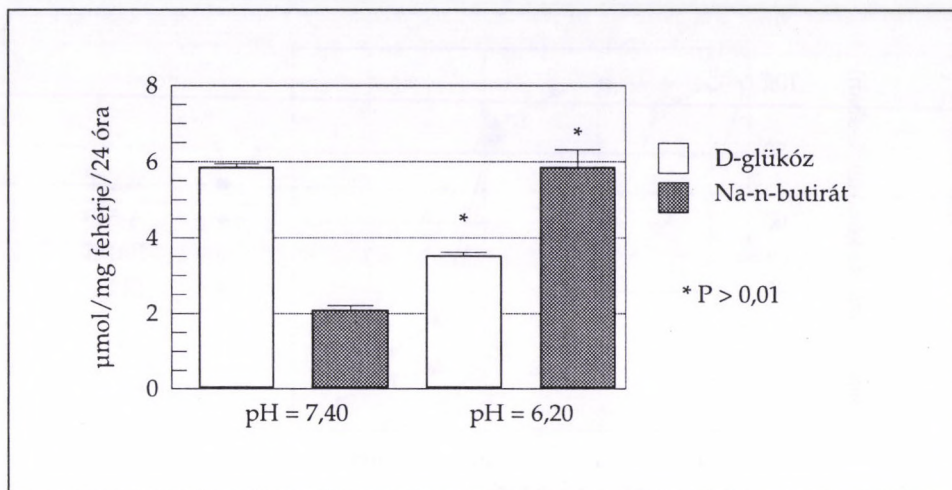
A nem disszociált monokarbonsav (1), mivel lipofil, könnyen átjut a baktérium sejtfalán (2), majd a sejtben az intracelluláris pH-értéknek megfelelően disszociálódik (3). A disszociálódott molekula, mivel nem lipofil, a sejtben marad, és felhalmozódik. A disszociáció során felszabadult H^+ , ha a baktérium állandó intracelluláris pH-érték kialakítására törekszik, energiavesztés árán kijut a sejtből (4), viszont a felszaporodott disszociált monokarbonsav a baktériumot



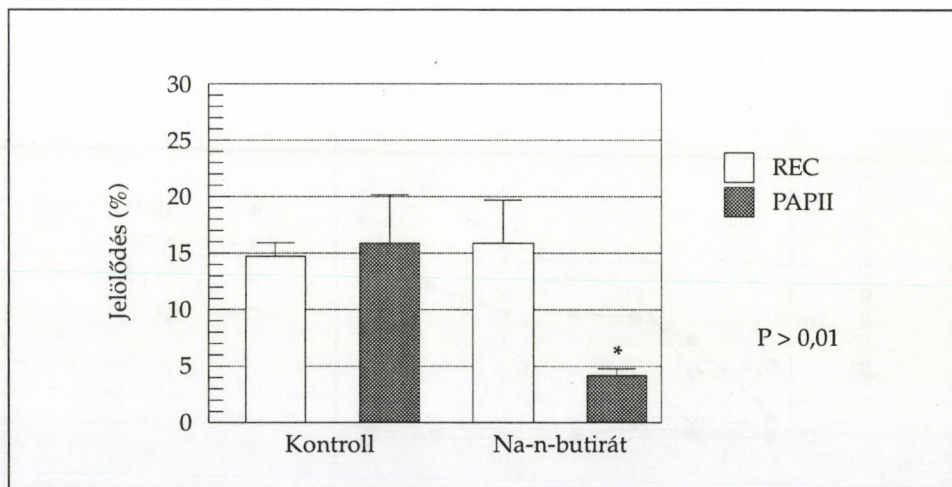
1. ábra. A rövid szénláncú monokarbonsavak disszociációjának pH-függő változása



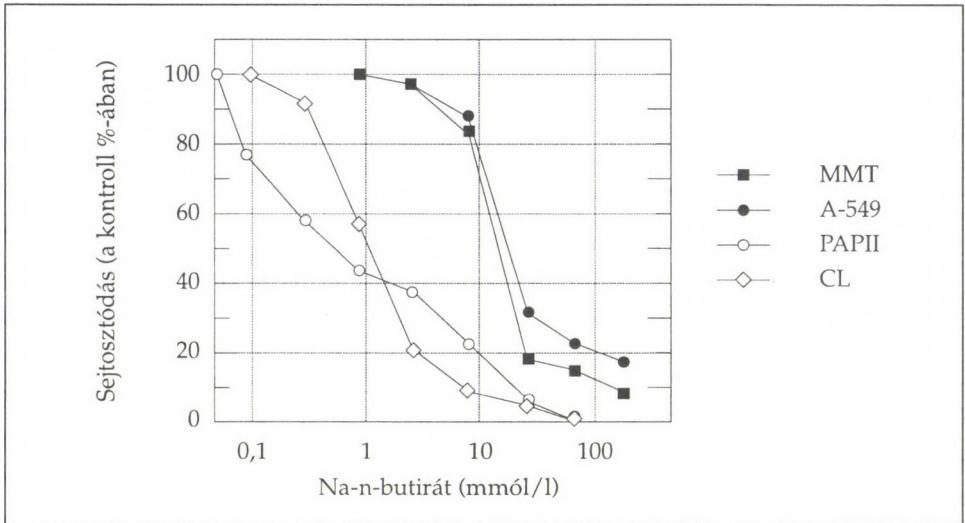
2. ábra. A rövid szénláncú monokarbonsavak átjutása a baktérium sejt falán
Russel (1991) szerint



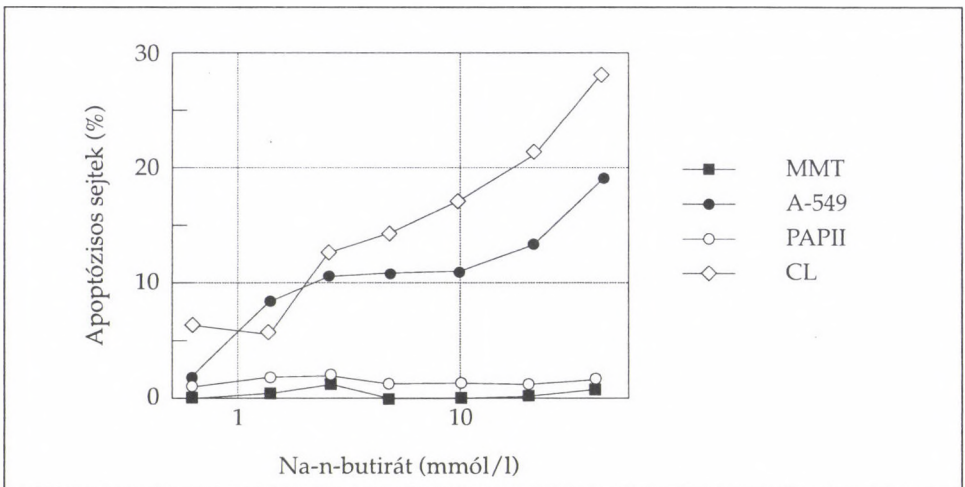
3. ábra. A ruminális hámsejtek (REC) D-glükóz- és Na-n-butyrát-metabolizmusa eltérő pH-értékek mellett



4. ábra. A ruminális hámsejtek (REC) és a ruminális kötőszöveti sejtek (PAPII) DNS-szintézisének alakulása (brómdezoxi-uridin-felvétel) pH = 6,20-nél Na-n-butyrát hiányában és jelenlétében (5 mmól/l)



5. ábra. Néhány sejtvonal (MMT = egéremlőtumor, A-549 = emberi tüdőkarcinóma, PAPII = juh ruminális kötőszöve, CL = emberi máj) osztódásának alakulása Na-n-butyrate jelenlétében



6. ábra. Néhány sejtvonal (MMT = egéremlőtumor, A-549 = emberi tüdőkarcinóma, PAPII = juh ruminális kötőszövet, CL = emberi máj) apoptózisának alakulása Na-n-butyrate jelenlétében

elpusztítja. Ha a baktérium az intracelluláris H^+ -felszabadulást elviseli, pH-ja csökken, és a disszociálódott molekula a H^+ felvétele után újra disszociálatlanná válik, így lipofilitását visszanyerve kijut a sejtől.

A rövid szénláncú monokarbonsavak hatása az emésztőcső nyálkahártyájára

A rövid szénláncú monokarbonsavak a sejtek osztódását elsődlegesen csökkentik, ami összefüggésbe hozható a hiszton-deacetiláz enzim gátlásával. Keletkezésük helyén viszont az emésztőcső sejteinek osztódására serkentően hatnak, amit *in vitro* kísérletekben (pH = 7,40-nél) nem sikerült igazolni, mivel gátolták a sejt-osztódást. Más kísérletekben viszont kiderült, hogy eltérően a prokarióta sejtektől, a környezet pH-értékének csökkenése fokozza egyes gasztrointesztinális sejtek butirátmetabolizmusát (3. ábra), és ezzel összefüggésben a butirát e sejtek osztódását nem csökkenti (4. ábra).

A ruminális (REC) hámsejtek butirátmetabolizmusa alacsonyabb pH-értéken növekszik, míg a glükózetabolizmus csökken.

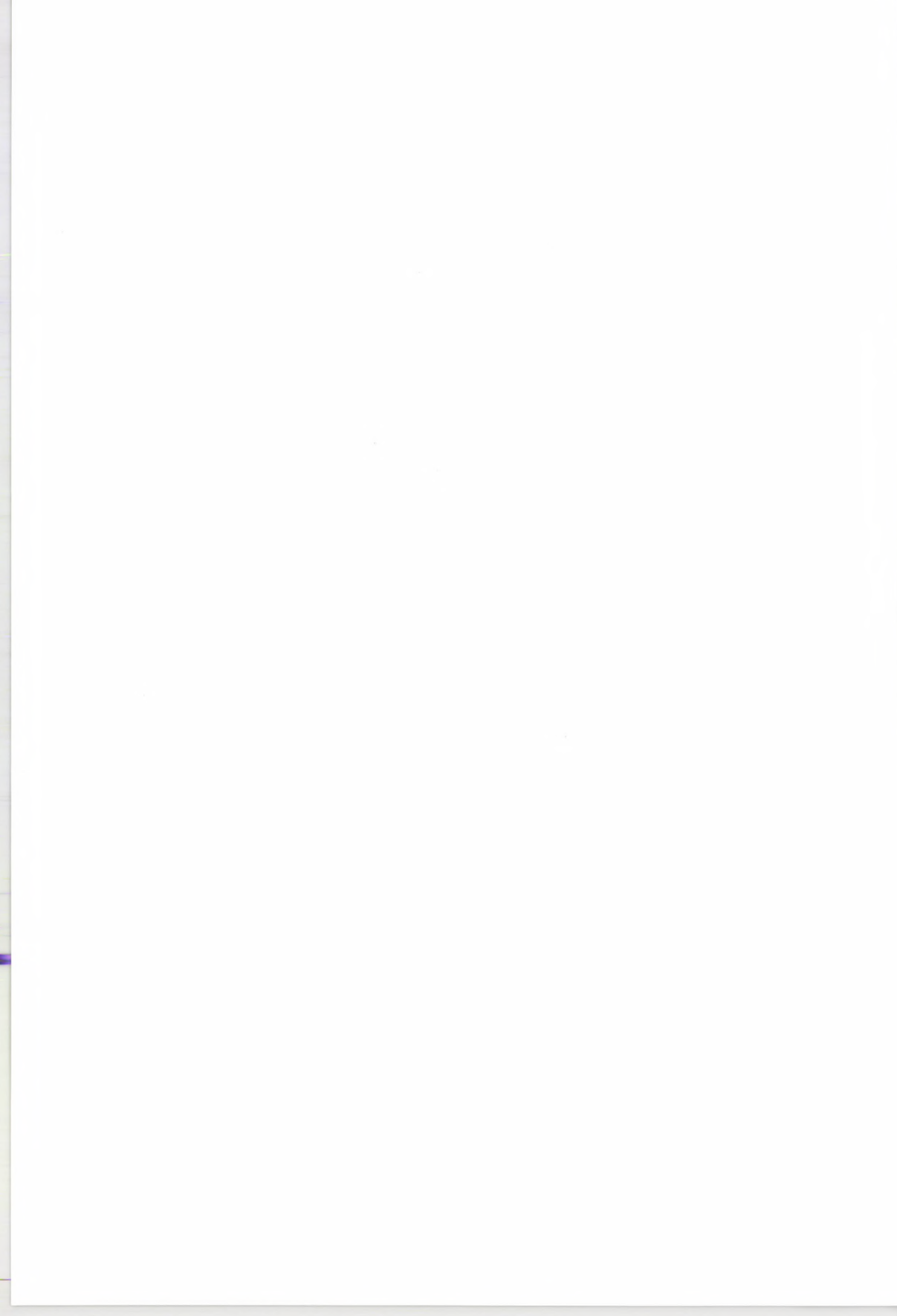
A ruminális hámsejtek DNS-szintézisét pH = 6,20 értéken a butirát nem befolyásolja, míg a ruminális kötőszöveti sejteket (PAPII) csökkenti.

A rövid szénláncú monokarbonsavak hatása egyes tumoros sejtekre

A rövid szénláncú monokarbonsavak sejtosztódást befolyásoló hatásukat már millimoláris koncentrációban kifejtik, azonban az egyes sejttypusok között lényeges eltérések tapasztalhatók (5. ábra).

Míg az MMT és A-549 sejtek osztódását a butirát > 10 mmól/l koncentrációban gátolja, addig a PAPII és C1 sejtek esetében már 1 mmól/l koncentráció mellett kifejezetten gátló hatást mutat. A sejtosztódást gátló hatás, mivel a hiszton-deacetiláz reverzibilis gátlására vezethető vissza, szintlén reverzibilis, azonban egyes esetekben irreverzibilis változások is kialakulhatnak, ami a sejtek maradandó károsodásával (apoptózis) magyarázható (6. ábra).

A vizsgálat során csak a sejtek egy részénél sikerült apoptózist kimutatni (A-549, CL), míg más sejtek még magas butirátkoncentráció mellett sem mutattak apoptózist (PAPII, MMT). Ugyanakkor az apoptózis kialakulása nem mutatott összefüggést a sejtek butiráttal való gátolhatóságának mértékével, ami arra enged következtetni, hogy az apoptózis kialakulása a sejtosztódásgátlástól független mechanizmuson keresztül történik.



Egyes mikotoxinok kórélettani hatásai

A mikotoxinok takarmány- és élelmiszer-alapanyagokon megtelepedő és fejlődő mikroszkópikus gombák anyagcseretermékei. Az ismert toxikus gomba-metabolitok száma ma már jóval meghaladja az ezret, de kiemelkedően nagy humán- és állat-egészségügyi jelentőséggel, jelenlegi ismereteink szerint, mindösszesen 15–20 mikotoxin rendelkezik. Ezek közé tartoznak az aflatoxinok, a fuzáriumtoxinok, illetve az egyes raktári penészgombák által termelt mikotoxinok (például az egyes *Aspergillus*, illetve *Penicillium* fajok által termelt ochratoxin-A).

Annak ellenére, hogy egyes mikotoxinok humán-egészségügyi hatásait már évtizedekkel ezelőtt felismerték (lásd balkáni nefropátia), az élelmiszer-alapanyagok megengedhető mikotoxin-tartalmának megállapítására irányuló vizsgálatok csak mintegy másfél-két évtizedes múltat tekintenek vissza. Az eddig elvégzett vizsgálatok alapján ma már mintegy 100 országban szabályozzák az élelmiszer-alapanyagok megengedhető aflatoxintartalmát, és 10 országban törvények vagy ezzel egyenrangú előírások léteznek az élelmiszerek ochratoxin-A-, deoxynivalenol-, zearalenon-, T-2 toxin- és fumonizin- (B_1 és B_2) tartalmát illetően.

A mikotoxin okozta humán-egészségügyi veszélyek és az állattenyésztésben jelentkező milliárdos nagyságrendű veszteségek indokolták azt, hogy az MTA Agrártudományok Osztálya és Orvosi Tudományok Osztálya együttes ülésen foglalkozzon a témakörrel. A közlemény alapjául szolgáló előadás a fontosabb fuzáriumtoxinok eddig megismert kórélettani hatásait kísérelte meg összefoglalni a teljesség igénye nélkül.

Zearalenon

A zearalenon (ZEA) számos fuzáriumfaj (például *F. avenaceum*, *F. equiseti*, *F. graminearum*, *F. culmorum*, *F. lateritium*) másodlagos anyagcsereterméke. Kémiai szerkezetét tekintve a béta-rezorcilsav laktonja. A kristályos ZEA olvadáspontja 163 °C, ezért a takarmánykészítés során alkalmazott hőkezelési eljárásoknak (szárítás, pelletálás) ellenáll. Az eddig ismertté vált 13 analóg közül az alfa-zearalenol rendelkezik a legkifejezettebb biológiai hatással.

Ösztrogénmimetikus hatása miatt a zearalenont a fitoösztrogének csoportjába sorolják, jóllehet az ismert fitoösztrogénekkel szemben (például coumestrol, genistein, daidzein, phloretin, formonometin, biochanin-A) a zearalenon szennyezője, és nem természetes alkotórésze a fitoösztrogéneket tartalmazó növényeknek (például szója, lucerna, vöröshere stb.).

A zearalenon az ember és a háziállatok szervezetében többféle biológiai hatással rendelkezik. Közülük a legfontosabb az ösztrogénekével (17-béta-ösztradiol, ösztron és az ösztriol) megegyező hatás. A zearalenon és származékai a célszervek egyes sejtjeiben található ösztrogénreceptorokhoz kötődve fejtik ki hatásukat. Zearalenonreceptorral rendelkező sejtek elsősorban az endometriumban, a petefészekben, a tejmirigyben, a hipotalamuszban, illetve a hipofízis elülső lebenyében vannak, de fellelhetők a májban is (Powel-Jones et al., 1981).

Egérben, patkányban és az emberben kétféle (alfa és béta) ösztrogénreceptor létezik, amelyek egymástól a C-terminális ligand-kötőhely, illetve az N-terminális transzaktivációs domain tekintetében különböznek (Kuiper et al., 1998). A fitoösztrogének elsősorban a béta-receptorhoz kötődnek, de a zearalenon kötődésének erőssége emberben 80–160-szor kisebb, mint az ösztradiolé. Sertésen, patkányon és baromfiakon végzett kísérletek igazolták, hogy a kötődés erőssége tekintetében jelentős fajtabeli különbségek mutatkoznak (Fitzpatrick et al. 1989), amely részben magyarázhatja a tyúkfélék viszonylagos érzéketlenségét a zearalenonnal szemben. Azt is igazolták, hogy a zearalenon egyes metabolitjai (például az alfa-zearalenol) lényegesen erősebben, mások (például a béta-zearalenol) lényegesen kisebb mértékben kötődnek a receptorokhoz, mint a zearalenon. Ez a felismerés további magyarázatát adja a fajok zearalenon-érzékenységeiben fellelhető különbségeknek. Azok a fajok, amelyekben a zearalenon metabolizációja során elsősorban alfa-zearalenol keletkezik (például ember, sertés), kifejezetten érzékenyek a zearalenon iránt, míg mások (szarvasmarha, tyúkfélék), amelyekben a zearalenon fő metabolitja a béta-zearalenol, nem vagy alig érzékenyek a zearalenon hatásai iránt.

A zearalenonnal szennyezett takarmány érzékeny állatfajokban az endometriumban hiperpláziát, a nyakcsatorna hámfájában metapláziát, a petefészekben pedig multiplex kis, illetve nagy (folliculus theca) ciszták kialakulását eredményezi. Az ösztrogénszerű hatás következtében ivarérett nőivarú sertésekben az endometrium ödémásan beszűrődik, a propriában vérzések keletkeznek, a méhmirigyek megnagyobbodnak, számuk megszaporodik, a méh üregében folyadék halmozódik fel, és mindezek eredményeként a méh teriméje jelentősen megnő. Az ödéma miatt az érintett állatokban hüvely- és/vagy végbélelőesés alakulhat ki. Tekintettel arra, hogy a toxin a hipofízis elülső lebenyében található laktotrop sejtek receptoraihoz is kötődik, a toxin hatására prolaktin termelődik az ivari ciklustól, illetve a vemhességi állapottól függetlenül. A prolaktin hatására a tejmiri-

gyekek megduzzadnak, a csecsbimbók kipirulnak. A petefészek elégtelen működése, hím állatokban a spermiogenezis zavara, az esetlegesen megtermékenyült petesejt beágyazódásának akadályoztatása, illetve az embriók korai elhalása miatt súlyos fokú szaporodási zavarok alakulhatnak ki.

A zearalenon és metabolitjai áthatolnak a placentán, és a tejjel is kiválasztódnak. Újszülött és fiatal malacokban ezért igen gyakran jelentkezik az úgynevezett posztnatális ösztrogénszindróma, amelynek jellegzetes klinikai tünete a vulva duzzanata és sötétvörös színe, valamint a csecsek duzzanata, a csecsbimbók vöröses-lilás elszíneződése. A zearalenon hasonló tüneteket okoz prepubertális leánygyermeken is.

Karcinogén hatás. Újabban feltételezik, hogy a zearalenon ösztrogéndependens szövetekben szövetszaporodást, illetve karcinogenezist indíthat meg. Ennek valószínűségét támasztja alá az is, hogy endometrium-hiperplázia és adenocarcinoma esetén humán vizsgálati anyagban $47,8 \pm 6,48$, illetve $167,0 \pm 17,7$ ng/ml mennyiségben mutattak ki zearalenont, míg az egészséges kontrolloktól származó vizsgálati anyag zearalenont nem tartalmazott (Tomaszewski et al., 1998). Kísérleti adatok arra is utalnak, hogy ha a terhesség idején az anyai szervezetet jelentősebb ösztrogénhatás éri, a leány utódokban fokozódik az emlőrák kialakulásának veszélye. Néhány fitoösztrogén (például a szójaalapú ételekben előforduló genistein) esetében ezt az összefüggést bizonyították is (Hilakivi–Clark, 1998), de a zearalenonnal összefüggésben ilyen hatásról még nem számoltak be.

Genotoxikus és mutagén hatás. A zearalenon genotoxikus és mutagén hatását az elmúlt évtizedben bizonyították, de a teljes hatásmechanizmus ma még nem ismert minden részletében. *Bacillus subtilisszel* végzett rekombinációs kísérletekben, illetve egérmájsejtekkel végzett vizsgálatok bizonyították a zearalenon DNS-károsító hatását. A genomjaikban lambda-bakteriofágot hordozó lizogén baktériumokban a zearalenon már 1,50 mM koncentrációban is genotoxikusnak bizonyult (Ghedira–Chekir et al., 1998).

Trichotecének

A terpénvázas mikotoxinok közül a trichotecének a legismertebbek. A vizsgálatok egyértelműen igazolták, hogy toxicitásuk jelentős mértékben a molekula alapvázához kapcsolódó oldallánc felépítésétől függ. Általában a makrociklikus trichotecének (például verrucarín J, satratoxin G és H) toxicitása meghaladja a többi trichotecénét. Erősen toxikus a T-2 toxin, a HT-2 toxin, a diacetoxiscirpenol, a nivalenol, míg a deoxynivalenol a kevésbé toxikus trichotecének közé tartozik.

A trichotecéntoxinok a sertés- és baromfiiparban jelentős gazdasági veszteséget okoznak, mert csökkentik a takarmányfogyasztást, gátolják a fehérjeszintézist, és mindezek eredményeként rontják a hús- és tojástermelés hatékonyságát.

A trichotecénnel szennyezett takarmány etetése blokkolja a petefészek-működést és sertésben a petefészek sorvadását és a ciklus leállását okozza, baromfiakban pedig rontják a tojózsák-termelés, illetve a keltethetőséget. Nagyobb koncentrációban (>2 mg/kg) kifejezett dermatotikus hatással rendelkeznek. A mellékvesekéreg működését fokozza, de csökkenti a pajzsmirigy tiroxintermelését. A felsorolt hatásokat a vonatkozó szakirodalom részletesen ismerteti. A lehetséges humán-egészségügyi hatásokra tekintettel a következőkben a trichotecének immunrendszerre gyakorolt hatásaival foglalkozunk.

A trichotecének sertésekben, tyúkfélékben, vízi baromfiakban és laboratóriumi rágcsálókban kifejezett immunszuppresszív hatással rendelkeznek. Az elmúlt évtizedben végzett vizsgálatoknak jelentős része annak megállapítására irányult, hogy a trichotecéntoxinok az immunrendszer mely mechanizmusainak működését gátolják. Számos kísérletben bizonyították, hogy a trichotecének hatására mind a T-dependens antigénekre (például juh-vörösvértest, tisztított ló-globulin stb.), mind a T-independens antigénekre (például TNP-lipopoliszacharid) adott humorális immunválasz csökken. A trichotecének hatására csökken a limfociták specifikus és nem specifikus mitogénnel indukált blasztos transzformációja, valamint a késői típusú hiperszenzitív bőrreakció. Sertésben és egerben csökken az IgG- és IgM-képződés, de jelentősen fokozódik az IgA termelése, amelynek szerepet tulajdonítanak az IgA immunkomplex okozta glomerulonephritisz kialakulásában. A trichotecéntoxinok hatását gyakran kíséri az elsődleges és másodlagos immunszervekben tapasztalható limfoid deplécia, illetve a makrofág-aktivitás csökkenése.

A kísérleteknek egy másik része az immunszuppresszív hatást kiváltó dózis, illetve a legrövidebb kezelés időtartamának megállapítására irányul(t). A vonatkozó néhány kísérleti eredmény közül idézzük az egyik szerző sertésekre és kacsákra vonatkozó adatait. A takarmány 0,5 mg/takarmány kg T-2 toxin-tartalma már 7 napos etetést követően szignifikánsan csökkentette a növény sertések T-dependens humorális immunválaszát, illetve a specifikus antigénnel (tisztított ló-globulin) indukált limfoblasztogenezist (Rafai et al., 1995). Növény pekingi kacsákban a T-2 toxin 49 napos kezelést követően már a 0,2 mg/takarmány kg dózisban is jelentősen és szignifikánsan csökkentette a limfociták nem specifikus mitogénnel indukált blasztogén átalakulását (Rafai et al., közlés alatt).

További fontos kutatási terület az immunszuppresszív hatás kórélettani hátterének felderítése. Egereken végzett vizsgálatok szerint a T-2 toxin immunszuppresszív hatása az immunrendszer sejtjeire gyakorolt közvetlen toxikus hatására vezethető vissza (Holt és DeLoach, 1988). A közvetlen toxikus hatás jelenlétét bizonyították csirke makrofág sejtvonalakon is (Kidd et al., 1997). A közvetlen toxikus hatást azzal magyarázzák, hogy a trichotecének képesek a sejtek riboszómájához kapcsolódni és gátolni a sejtekben a fehérjeszintézist

(Rotter et al., 1997). A közvetlen hatáson túlmenően közvetett hatásokkal is számolni kell. Ilyen például a citokin- (például az IL-2 és IL-5) termelés gátlása (Harvey et al., 1996). Rafai és Tuboly (1982) bizonyította, hogy a T-2 toxin növények sertésekben fokozza a mellékvesekéreg működését, és az általuk demonstrált immunszuppresszív hatást összefüggésbe hozták a fokozott kortizoltermeléssel. Mások (Taylor et al., 1989) vizsgálatai szerint a T-2 toxin által létrehozott gasztritiszhez kapcsolódóan felszabaduló endotoxinok aktiválják a hipotalamusz–hipofízis–mellékvesekéreg tengelyt, és az immunszuppresszív hatás a túlzott kortikoszteroid-termelés következménye.

Nagyon lényeges lenne megérteni azt, hogy a trichotecének által kiváltott immunszuppresszív hatás miként vezet el parazitás, gombás, baktériumos és vírusos betegségek fellobbanásához, illetve a klinikai tünetek súlyosbodásához. A rendelkezésre álló adatok egyelőre csak azt bizonyítják, hogy a trichotecének valóban hozzájárulnak egyes betegségekkel szembeni fogékonyság kialakulásához. Így például bizonyított, hogy a trichotecének fokozzák az egerek szalmonellafertőzés iránti fogékonyságát (Konishi et al., 1998). A T-2 toxin csökkentette a C3H/HeN egerek *S. typhimurium*-fertőzéssel szembeni ellenállását (Tai és Pestka, 1998). Ugyancsak egérkísérletekben állapították meg, hogy a T-2 toxin az alkalmazott dózistól függően csökkentette az ellenálló képességet a *L. monocytogenes*-fertőzéssel szemben. Niyo és munkatársai (1988) bizonyították, hogy a T-2 toxinnal kezelt nyulakban az *A. fumigatus* okozta tüdőelváltozások nagysága és súlyossága kifejezettebb volt, és lényegesen több *A. fumigatus*-telepet lehetett visszaizolálni a kezelt nyulakból. Sertéseken Rafai és munkatársai (1989) szolgáltatottak közvetett bizonyítékot arra, hogy az immunszuppresszív hatás lényegesen súlyosbíthatja a növények sertések *S. hyodysentria*-fertőzésének kialakulását és lefolyását. Számos gyakorlati megfigyelés bizonyítja a CRD (a tyúkok és libák *M. gallisepticum* okozta idült légzőszervi betegsége) spontán fellobbanását olyan állományokban, amelyeket T-2 toxint tartalmazó takarmánnyal etettek.

Fumonizinek

A ma ismert hat fumonizint a *F. moniliforme*, a *F. proliferatum*, illetve az *Alternaria alternata* gombák termelik. A humán expozíció szempontjából megkülönböztetett figyelmet érdemel a FB₁, FB₂, FB₃ és FB₄, amelyet az elmúlt 10 évben különítettek el. Az FB₁ emberben primer májrák (Ueno et al., 1997), nyelőcsőrák (Marasas et al., 1988), lóban encephalomalacia (Marasas et al., 1988), sertésben tüdővízenyő (Fazekas et al., 1997), patkányban májrák okozója, több állatfajban vese- és idegrendszerkárosító hatású.

A toxin pontos hatásmechanizmusa ma még nem ismert. Az több éve tudott, hogy az eukarióta sejtek mintegy 400, felépítésükben hasonló szfingolipid-

molekulát szintetizálnak, amelyek a sejtmembránok felépítésében, a sejtnövekedés és -differenciálódás, a sejten belüli jelátadás, valamint számos anyagcsere-folyamat szabályozásában meghatározó szerepet játszanak. A fumonizinek molekulaszervezete nagyon hasonló a szfingolipidekéhez, ezért például a FB_1 a szfinganin-N-aciltranszferáz gátlása révén a szfingolipidek bioszintézisét gátolja. A sejtek működésében és morfológiájában fellépő változások részben a szfingolipidek hiányának, részben a citotoxikus hatású metabolitok (szfinganin) felszaporodásának tulajdoníthatók. A sejtek homeosztázisát felborítva, sejtburjánzást vagy sejthalált (apoptosis) indukálhatnak (Riley et al., 1996).

A FB_1 -toxikózis legkorábbi és legérzékenyebb indikátora a szabad szfinganin mennyiségének megemelkedése. A közelmúltban kidolgozott analitikai módszereknek köszönhetően (Shepard et al., 1996) szövet-, vizelet- és vérminták viszonylag kis mennyiségéből kimutatható szfingolipid bioszintézis-gátlásának mutatója a szabad szfinganin és szfingozin (SA/SO) arány.

Neurotoxikus hatás. A szfingolipid bioszintézis-gátlását idegsejtekben is kimutatták. Idegsejttenyészetben a FB_1 idegsejt fejlődési zavart, például axonmegrövidülést idézett elő (Scwarz et al., 1995), megváltoztatta az idegsejtek közötti jeltovábbítást szolgáló transzmitter-rendszerek működését (Porter et al., 1995). A kisagy Purkinje-sejtjeiben (Furuya et al., 1995) valamint neuroblastomasejtekben (Riboni et al., 1995) fejlődési rendellenességet, illetve differenciálódási zavart okozott.

Patkányokon végzett kísérletekben a FB_1 -nek az agyműködésre gyakorolt direkt vagy indirekt hatását vizsgálva, Banczerowskiné és munkatársai (1999) EEG és hanginger által kiváltott potenciálok regisztrálására alkalmas elektródokkal látták el a kísérleti állatokat. A patkányok 3-4 nap után visszautasították a toxintartalmú tápot, ezzel párhuzamosan a kiváltott potenciálok amplitúdója jelentősen csökkent, esetenként morfológiájuk megváltozott. Ugyancsak a fenti szerzők patkányok agykérgéből készített tápoldatban mesterségesen életben tartott, túlélő agyszeletek idegsejthálózatában végzett vizsgálatokkal az agyi elektromos aktivitás csökkenését tapasztalták.

A FB_1 idegrendszeri toxicitása háziállatainkban – lovat és nyulat kivéve – általában alacsony.

Tüdőödéma kialakulása. Háziállataink nem egyformán érzékenyek a fumonizin toxikózisra. A ló mellett a sertés is fokozottabb érzékenységet mutat, mint például a szarvasmarha vagy a különböző baromfifajok.

Sertésben gombatenyésztettel szájon át bevitt toxin már kis koncentrációban (≤ 20 mg/takarmány kg) is klinikai tünetekben meg nem nyilvánuló májkárosodást (Riley et al., 1996), a vesében és a pankréaszban pedig elhalást okozott (Harrison et al., 1990). A tüdőödémát lényegesen magasabb toxinadaggal lehetett

kiváltani. Haschek munkatársai (1992) 166, Motelin (1994) pedig 175 mg/takarmány kg dózisban alkalmazva tapasztalta a FB₁ tüdőödémát okozó hatását.

A tolerálható határértékek meghatározását célzó kísérletekben választott malacokban már 10–40 mg/takarmány kg FB₁-tartalmú táp 4 hétig tartó etetése is enyhébb-súlyosabb fokú interlobuláris és peribronchiális tüdőödémát idézett elő (Zomborszkyne et al., 1997). Az elváltozások súlyosságával arányosan emelkedett a plazma szabad szfinganinkoncentrációja, az aszparaginsav transzamináz-(AST) aktivitása, valamint a komputertomográfiás vizsgálattal meghatározott, a szövetidenzitás-értékekből számított és a tüdő víztartalmára utaló, úgynevezett HU-index-értékek.

Vemhes kocákkal *Fusarium moniliforme* gombatenyészettel kevert takarmányt etetve, megállapították (Zomborszkyne et al., 1999), hogy a FB₁ már a méhen belüli életben károsította a magzatokat. A toxinhatásra utaló tüdővízenyőt a születés után azonnal, már a szopás előtt leölt malacokban ki lehetett mutatni. Kóros elváltozást mutatott a máj szövettani képe, valamint a fiziológiásnál magasabb plazma-aszparaginsav-transzamináz (AST), a gamma-glutamil-transzferáz (GGT) és az alkalikus foszfatáz (AKLP) aktivitása. A szérum SA/SO értéke az elváltozások súlyosságával összhangban változott. Az ellés után továbbra is toxint fogyasztó kocák tejmintáiban 18,0–27,5 ppb mennyiségben lehetett FB₁-et kimutatni.

A fumonizinek állat- és humán-egészségügyi kockázatának felmérése számos további vizsgálatot igényel, többek között a sejtszintű hatásmechanizmus, a dózisexpozíciós időösszefüggés terén.

Irodalom

1. Banczerowski J.-né – Világi I. – Détári L. – Dóczi J. – Kukorelli T.: Mikotoxinok az élelmiszerekben. Toxikus hatások, idegrendszeri változások biomonitorozása. In *Közgyűlési előadások 1998*. Szerk.: Glatz F. Budapest, MTA, 1999. 173.
2. Fazekas B. – Bajmóczy E. – Glávits R. – Fenyvesi A.: *Magy. Állatorv. Lapja*, 1997, 119, 10.
3. Fitzpatrick, D. W. – Picken, C. A. – Murphy, L. C. – Buhr, M. M.: *Comp. Biochem. Physiol. C.*, 1989, 94, 691.
4. Furuya, S. – Ono, K. – Hirabayashi, Y.: *J. Neurochem.*, 1995, 65, 1551.
5. Ghedira-Chekir, L. – Maaroufi, K. – Zakhama, A. – Ellouz, F. – Dhoubi, S. – Creppy, E. E. – Bacha, H.: *Chem. Biol. Interact.*, 1998, 113, 15.
6. Harrison, L. R. – Colvin, B. M. – Greene, J. T. – Newman, L. E. – Cole, J. R.: *J. Vet. Diagn. Invest.*, 1990, 2, 217.
7. Harvey, R. B. – Kubena, L. F. – Huff, W. E. – Elissalde, M. H. – Phillips, T. D.: *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 1991, 46, 410.
8. Haschek, W. M. – Motelin, G. – Ness, D. K. – Harlin, K. S. – Hall, W. F. – Vesonder, R. – Peterson, R. E. – Beasley, V. R.: *Mycopathologia*, 1992, 117, 83.
9. Hilakivi-Clarke, L. – Cho, E. – Clarke, R.: *Oncol. Rep.*, 1998, 5, 609.
10. Holt, P. S. – DeLoach, J. R.: *American Journal of Veterinary Research*, 1988, 49, 1480.
11. Kidd, M. T. – Qureshi, M. A. – Hagler, W. M. Jr. – Ali, R.: *Poultry Science*, 1997, 76, 311.
12. Konishi, Y. S. – Kudo, Y. H. – Kasuga, F. – Kumagai, S.: *Mycotoxins*, 1998, 47, 19.

13. Kuiper, G. G. – Lemmen, J. G. – Carlsson, B. – Corton, J. C. – Safe, S. H. – Van-der-Saag, P. T. – Van-der-Burg, B. – Gustafsson, J. A.: *Endocrinology*, 1998, 139, 4252.
14. Marasas, W. F. O. – Kellerman, T. S. – Gelderblom, W. C. A. – Coetzer, J. A. W. – Thiel, P. G. – van der Lugt, J. J.: *Onderstepoort J. Vet. Res.*, 1988, 55, 197.
15. Motelin, G. K. – Haschek, W. M. – Ness, D. K. – Hall, W. F. – Harlin, K. S. – Schaeffer, D. J. – Beasley, V. R.: *Mycopathology*, 1994, 126, 27.
16. Niyo, K. A. – Richard, J. L. – Niyo Y. – Tiffany, L. H.: *American Journal of Veterinary Research*, 1988, 49, 2151.
17. Porter, J. K. – Bacon, C. W. – Wray, E. M. – Hagler, W. M.: *Nat. Toxins*, 1995, 3, 91.
18. Powell-Jones, W. – Raeford, S. – Lucier, G. W.: *Molecular-Pharmacology*, 1981, 20, 35.
19. Rafai, P. – Pettersson, H. – Bata, Á. – Papp, Z. – Glávits, R. – Tuboly, S. – Ványi, A. – Soós, P.: *Poultry Sci.*, 2000, 79, 1548–1556.
20. Rafai, P. – Tuboly, S.: *Zbl. Vet. Med. B.*, 1982, 29, 558.
21. Rafai, P. – Tuboly, S. – Bata, Á. – Tilly, P. – Ványi, A. – Papp, Z. – Jakab, L. – Túry, E.: *The Veterinary Record*, 1995, 136, 511.
22. Riboni, L. – Prinetti, A. – Bassi, R. – Caminiti, A. – Tettamanti, G.: *J. Biol. Chem.*, 1995, 270, 26868.
23. Rotter, B. A. – Prelusky, D. B. – Pestka, J. J.: *Journal of Toxicology and Environmental Health*, 1996, 48, 1.
24. Schwarz, A. – Rapaport, E. – Hirschberg, K. – Futerman, A. H.: *J. Biol. Chem.*, 1995, 270, 10990.
25. Tai, J. H. – Pestka, J. J.: *Food and Chemical Toxicology*, 1988, 26, 691.
26. Taylor, M. J. – Smart, R. A. – Sharma, R. P.: *Toxicology*, 1989, 56, 179.
27. Tomaszewski, J. – Miturski, R. – Semczuk, A. – Kotarski, J. – Jakowicki, J.: *Ginek. Pol.*, 1998, 69, 363.
28. Túry E. – Rafai P. – Tuboly S.: *Magy. Állatorv. Lapja*, 1989, 44, 305.
29. Ueno, Y. – Iijima, K. – Wang, S. D. – Sugiura, Y. – Sekijima, M. – Tanaka, T. – Chen, C. – Yu, S. Z.: *Food Chem. Toxicol.*, 1997, 35, 1143.

Gabonapenészek gyermekgyógyászati hatásai

A mikor az ember a környezeti ártalmakról hall, szinte azonnal megjelenik előtte a kipufogógázban fuldokló tömeg a nagyvárosi utcákon, a savas esők pusztította erdőknek és a gótikus katedrálisok málladozó szobrainak képe, eszébe jut az ózonlyuk, a globális felmelegedés és még számos rémes dolog. Arra már ritkábban gondolunk, hogy az embert nemcsak saját maga okozta környezeti ártalmak, hanem a természetes környezet, az élő természet károsító hatásai, mérgező anyagai is fenyegethetik. Ma már csak keveseknek jutnak eszébe azok a szörnyű pestis-, feketehimlő- vagy akár a gyermekbénulás-járványok, amelyek megtizedelték vagy megnyomorították az akkori emberek életét. Elnéptelenítettek vidékeket, átrajzoltak etnikai térképeket. A gabonaféléken élősködő gombapenészek toxinjainak hatásairól ma még többnyire csak a szakemberek tudnak, de még a tájékozottak többsége is csak a mezőgazdaság termelékenységét csökkentő hatásukat ismeri.

Korábbi ismereteimet részben annak a szerencsémnek köszönhetem, hogy néhai apósom, aki a Gabonatermesztési Kutatóintézetben dolgozott, többször mesélt a *Fusarium* fajok kártételeiről. Idézett egy az 1920-as évekből származó gazdakalendáriumot, mely pontosan leírta, hogy a fuzáriumos gabonával etetett állatokban milyen ilyen súlyos mérgezés alakul ki. A kalendárium határozottan leszögezi, hogy a fuzáriummal fertőzött gabona sem emberi ételmezésre, sem állati takarmányozásra nem használható, egyedül ipari szesz előállítására alkalmas. Apósom említést tett arról is, hogy a fertőzött gabona lehetséges károsító hatására vonatkozó jelzéseket korábban az illetékesek azzal utasították el, hogy egyértelmű adat nem lévén az irodalomban, emberben károsító hatása nem bizonyított.

A *Fusarium* fajok toxinjainak két fő csoportja az ösztrogénhatású úgynevezett fitoösztrogének, fő képviselőjük a zearalenon/zearalenol, illetve a vomitotoxinok, legismertebb közülük a deoxynivalenol (DON). Mindkét toxincsoport igen ellenálló, hatékony vegyületeket tartalmaz. Mivel a fertőzött gabonamagvak felpuhulnak, a toxinok az őrlési folyamat során a korpában és a durva részekben koncentrálnak. A krónikus mikotoxin-intoxikáció legismertebb, zömmel állatokban megfigyelt hatásai a következők:

Fitoösztrogének: korai nemi érés, heteroszexuális pubertas praecox, abnormális szexuális viselkedés, sterilitás, a nemzőképesség csökkenése, vemhes állat vetélése, az immunrendszer károsodása.

Vomitotoxinok és más mikotoxinok: hányás, hasmenés, toxikózszerű állapotok, nyálkahártya-károsodás, alimentáris toxikus aleukia, osteoarthropathia, immun-suppresszió, csökkent tumorelles aktivitás, nephropathia, nyelőcsőrák, idegrendszeri károsodás, teratogenitás (?!). A felsorolt állapotok jelentős része halálos kimenetelű!

Az 1970-es évek végén Észak-Olaszországban leírtak egy „járványt”, ahol kollégiumi közösségben fordult elő halmozottan előfordulást. Ezt összefüggésbe hozták azzal, hogy az Olaszországban gyakran fogyasztott fiatal állatoknak a nagyobb hozam érdekében szteroidvegyületeket adtak. Ezek a vegyületek igen ellenállóak, így az ilyen hús fogyasztásával jelentős mennyiségben kerültek a gyermekek szervezetébe. Az eset kapcsán az Európai Unióban betiltották az ilyen hozamnövelő szerek használatát. Az 1980-as évek elején Puerto Ricóban írtak le több évig tartó korai izolált thelarce-járványt (korai izolált thelarce: idő előtti emlőnővekedés lányokban a serdülés más jelei nélkül, *gynecomastia*: nőies emlő-megnagyobbodás fiúkban, *mastopathia*: kóros emlő-lelet mindkét nemből, bármely életkorban). A többszáz esetet leíró közlemény élénk visszhangot váltott ki az irodalomban. Felvetődött a fitoösztrogének kóros szerepe is, mivel minden más ösztrogénforrás kizárható volt. Puerto Ricóban Kanadából importált búzát fogyasztanak, és azokban az években az időjárás nagyon kedvezett a *Fusarium* fajok elszaporodásának, de a toxint a betegekben kimutatni nem sikerült, így ez csak feltételezés maradt. Akkoriban az Országos Gyermekegészségügyi Intézet foglalkozott ezzel a problémával, de magyarországi adatok nem igazoltak halmozott előfordulást.

A Szent-Györgyi Albert Orvostudományi Egyetem Gyermekgyógyászati Klinikájának endokrin szakos vezetőjében az 1990-es évek elején a korábbinál lényegesen gyakrabban talákoztunk elsősorban 1–3 éves gyermekeknél korai izolált thelarchéval. Az esetek halmozódása mellett feltűnt, hogy a szülők szokatlanul gyakran számoltak be arról, hogy tudatosan egészségesen táplálkoznak, a „reformkonyha” elvei szerint sok gabonaterméket, azon belül is teljes kiőrlésű lisztet, müzliket, puffasztott gabonatermékeket, gabonapelyheket fogyasztanak gyermekeikkel együtt. A későbbi kérdőíves felmérés több mint 60%-ra tette a „reformkonyha” szerint étkezők arányát. Ez volt az a pont, ahol a korábbi információ-töredékek egységes képpé álltak össze. Ételmintákat kértünk a szülőtől, és a Gabonatermesztési Kutatóintézet Mycotoxin-munkacsoportja elvégezte azok analízisét. Meglepetésünkre több mintában extrém – 500 ppm feletti – koncentrációban sikerült kimutatni fitoösztrogéneket.

A biztató eredmények hatására kutatócsoportot szerveztünk a GKI, a SZOTE Gyermek- és Szülészeti Klinikájának szakembereiből. Időközben munkahelyem a

hódmezővásárhelyi Erzsébet Kórház lett, ahol tovább folytathattam a munkát, és hasonló okokból bekapcsolódott a SZOTE Gyógyszerhatástani Intézete is. Későbbiekben OTKA-pályázatunknak köszönhetően sikerült a betegek szérumát is megvizsgálnunk. A diódasoros detektorral felszerelt HPLC segítségével 36 beteg közül 5 esetben sikerült a betegek vérében a zearalenon kimutatása (1. táblázat)

1. táblázat

Mikotoxin-pozitív korai izolált thelarchés betegek adatai (n = 36)

Név	Születési idő	Lakhely	Vizsgálat ideje	Tünetek lokalizációja	Minta-vétel	Zearalenon µg/l	Klinikai lefolyás
D. A. fiú	22. 09. 78.	Szeged	09. 92. 05. 93.	Kétold. J>B. B.	05. 93.	85,5	> >
D. B. lány	23. 02. 91.	Orosháza	10. 92.	Kétoldali	01. 93.	71,0	>
G. A. lány	04. 03. 93.	Hmvhely	05. 95.	J.	05. 95.	18,9	>
K. I. lány	19. 01. 83.	Szeged	02. 92.	Kétoldali J>B	10. 92.	103,5	= pubertás
K. E. Lány	10. 06. 92.?					51,5	

> enyhülő tünetek = tartósan változatlan állapot

A klinikai tünetek mellett így már bizonyítottuk, hogy az elfogyasztott élelem toxint tartalmazott, melyet a betegek szérumából is izolálni tudtunk. Továbbra is kérdés volt, hogy a zearalenon valóban kötődik-e az emberi ösztrogénreceptorokhoz. Ezért humán myometrium cytosol frakció ösztrogén- és progeszteron-receptorain vizsgáltuk a toxinok kötődését. A kompetitív rendszerben a zearalenon a természetes ösztrogén-ösztradiolt leszorítva, igen erős affinitást mutatott. A progeszteron receptoron ugyanakkor 2-3 nagyságrenddel alacsonyabb affinitást észleltünk (2. táblázat).

Ily módon sikerült igazolni egy korábban ismeretlen hátterű klinikai kép, a korai izolált thelarche hátterében egy környezeti ártalom jelenlétét. A betegek által fogyasztott táplálékban megtalálható toxint a klinikai tünetekkel egy időben a betegek vérében is kimutattuk, igazoltuk, hogy az ösztrogén hatású mikotoxinok humán receptorhoz is képesek kötődni.

Meg kell jegyezni, hogy betegeink többsége 2-3 éves korú volt. Ismert, hogy ebben a korban a leggyakoribb az emlő átmeneti megnagyobbodása, ami valószínűleg az életkorral változó szöveti érzékenységgel lehet kapcsolatban. Természetesen nem tudjuk, melyik betegünk milyen hosszú ideig, milyen mennyiségben fogyasztott mikotoxinokat tartalmazó élelmiszert. Elgondolni is ijesztő, hogy a fent leírt módon rövidebb-hosszabb ideig toxinhatásnak kitett lakosságban milyen hatásokkal számolhatunk. Az ösztrogének hatása a szaporodási ciklusra

Fusariumtoxinek affinitása humán myometrium cytosol ösztrogén és progeszteron receptorokhoz kompetitív rendszerben

Toxinok	17 β -ösztradiol receptor K _i [Mól]	Progeszteron receptor K _i [Mól]
α -zearalenol	4,0 \times 10 ⁻¹⁰	9,3 \times 10 ⁻⁸
β -zearalenol	1,1 \times 10 ⁻⁹	8,5 \times 10 ⁻⁶
Zearalenon	3,9 \times 10 ⁻⁹	3,3 \times 10 ⁻⁶
Zearalenon	7,0 \times 10 ⁻⁹	7,8 \times 10 ⁻⁵
β -zearalenol	1,2 \times 10 ⁻⁸	7,0 \times 10 ⁻⁶
Deoxynivalenol	–	–
Nivalenol	–	–
T-2 toxin	–	–

jól ismert. Ezért az Egészségügyi Minisztérium Egészségügyi Tudományos Tanácsának támogatásával felmérést végzünk középiskolás korú fiatalok között étkezési szokásaikról, a lehetséges expozíció mértékéről. Százas nagyságrendben lehetőségünk nyílik szérumminták analízisére is. Az első 23 vérmintából két esetben tudtunk 108,0, illetve 116,0 μ g/l koncentrációban zearalenont kimutatni. A vizsgálat még folyik, ezek az első eredmények azonban jelzik, hogy a mikotoxinok jelen vannak mindennapi élelmiszereinkben.

*

Munkánkat az OTKA 6231, az ETT T091/096197 sz. pályázati támogatásával végeztük. Ezúton is köszönetemet fejezem ki munkatársaimnak: GKI Szeged: Prof. Mesterházy Ákos, Dr. Bartók Tibor; SZOTE Szülészeti Klinika: Dr. Földes

Krónikus fitoösztrogén-expozíció néhány ismert és lehetséges hatása emberben

Korai izolált thelarche – pubertáskori mastopathia (bizonyított)
Abnormális szexuális viselkedés?
Meddőség – vetélés – a nemzőképesség csökkenése?
Az immunrendszer károsodása? (Ösztrogénérzékeny tumorok indukciója?)
Teratogén hatás?

Imre, Dr. Melis Kornélia; SZOTE Gyógyszerhatástani Intézet: Prof. Falkay György; Erzsébet Kórház, Hódmezővásárhely, Gyermekosztály: Dr. Hocsi Mária, Dr. Vörös Baranyi Mária, Dr. Nyárádi Anett.

**AZ ORVOSI TUDOMÁNYOK,
A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK
ÉS A FIZIKAI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK
együttes ülése**

SZÁZ ÉVE SZÜLETETT A NOBEL-DÍJAS BÉRÉSY GYÖRGY

Békésy feladata az Internet korában

Békésy György 1970. szeptember 10-én levelet küldött egykori kollégájának, Dr. Ipolyi Károlynak. Ennek a levélnek melléklete egy részletes visszaemlékezés Európában és Magyarországon végzett kutatásairól. Az élete alkonyán, már betegen a munkássága kezdetére visszatekintő nagy tudós gondolatai a leg-hitelesebb forrásoknak tekinthetők. Érdekes és megdöbbentő, hogy feladatai, megközelítésmódja és megoldásai ma is mennyire tanulságosak és időszerűek. Az internettelefon beharangozott robbanásszerű elterjedése és a hagyományos telefonrendszerek korábban megjósolt halála egyszerűen nem következett be. Ennek okait vizsgálva ugyanazon tünetek fedezhetők fel, mint amelyekkel Békésy találkozott munkássága kezdetén. Lehet, hogy a megoldáshoz vezető út is ennyire hasonló?

Az MTA tudományos emlékülése előadásának előkészítésekor az tűnt legcél-szerűbbnek, hogy hangfelvételek lejátszásával adható a legteljesebb élmény a hallgatóságnak arról, miként hangozhatott egy telefon-összeköttetésen keresztül a beszédjel, és hogyan viszonyul ez a nyilvános Internet-hálózatokon továbbított beszédjel hangzásához. A Postamúzeum anyagából kölcsönvett berendezéseket összekapcsolva, rekonstruáltunk egy Békésy előtti telefon-összeköttetést, és összeállítottunk egy olyan összeköttetést is, amelynek megjavított elemei Békésy közvetlen eredményei és iránymutatásai alapján készültek el. Hasonló beszédfelvételeket készítettünk az Internet-hálózaton továbbított telefonbeszélgetésekről is. Sajnos az írott szöveghez ez a hangélmény nem csatolható. Csak csonkán adható vissza írásban, mi lett Békésy munkájának közvetlen eredménye ebben a szakaszban, és hogyan kapcsolódik ez az internettelefon problémáihoz, de sok tanulság levonható így is.

Békésy György kezdeti feladatai a Posta Kísérleti Állomáson

1923-ban, amikor Békésy dolgozni kezdett a Posta Kísérleti Állomáson egy állandó panasszal sehogyan sem boldogultak. A Belgrád–Prága összeköttetésen keresztül nem volt kellően érthető a beszéd, és ezt a panaszt diplomáciai csatornákra terelték, s felgyűrűzött egészen a miniszterelnökig. A kényes feladatot a megszokott mérnöki rutinfogásokkal megoldani nem tudták, ezért került Békésy kezébe az ügy.

Az addig használt szinuszhangos, hosszadalmas vonalvizsgálat helyett szakaszonként a kezelők bejelentkezésekor hallható kattanás alapján ítélte meg a vonal minőségét. Amint egy doktor a szívdobbanások hangja alapján sokat megtud a páciens szívéről, ugyanígy pillanatok alatt képes volt Békésy feltárni a kattanások alapján, melyik vonalszakaszban van probléma. Ezzel a módszerrel jó 30 évvel előzte meg az impulzus-visszaverődésen alapuló hibahelymérési eljárást.

A panaszok elmúltak, s a következő feladatot kapta az ifjú szakember: találja meg, melyik összeköttetés-elem fejlesztésébe érdemes pénzét fektetni: a készülék mikrofonrészébe, az összekötő kábelekbe, a telefonkészülék hallgatójába? A leggyengébb láncszemet kereste, s a korábbi kattanásos vizsgálat azt mutatta, hogy ez a hallgató. Ezután azonnal felvetődött a kérdés: mennyivel rosszabb ez, mint az emberi fül? Csak akkor érdemes ezt az elemet javítani, ha tényleg rosszabb. Csakhamar kiderült – mégpedig a „kattanásos” módszerrel –, hogy a hallgató sokkal, de sokkal rosszabb. A feladat természetesen vezette Békésyt a fül egyre jobb megismeréséhez. Kevesen tudják, hogy tapasztalatai, fejlesztési eredményei közvetlenül is megjelentek a jelentős minőségi előrelépést jelentő CB 35-ös típusú távbeszélőkészülékben.

Mai megfogalmazásban a telefonhallgató érzékenységeinek növelésével, a kábelcsillapítás menetét kiegyenlítő jellegű frekvencia-átvitellel, az átviteli frekvenciasáv növelésével többet tudott javítani az átvitel minőségén, mint akár egy erősítő beiktatásával (amit kezdetben mérnök munkatársai megoldásként javasoltak). Mivel keveseknek van élő hangélményük arról, hogy az 1920-as évek végének és az 1930-as évek végének tipikus telefonátvitelét összehasonlítsák, ezért rekonstruáltuk az összeköttetéseket. Ezzel a Békésy előtti és az ő eredményeit tartalmazó rendszerek hangzása összevethető. A Postamúzeum gyűjteményéből kölcsönzött CB 24-es távbeszélő készülékekkel és kábelutánzatokkal a PKI Távközlésfejlesztési Intézet laboratóriumában hangfelvételeket készítettünk, és felvettük a készülékek adás- és vételirányú frekvenciakarakterisztikáit. Ugyanezt megtettük a CB 35-ös típussal is, változatlan kábelhosszakat iktatva az összeköttetésbe előfizetői és trónk-oldalon egyaránt. Nehéz szavakkal kifejezni, de hatalmas a különbség hangerőérzetben is, a beszéd érthetőségében is. Legszembetűnőbb a frekvenciakarakterisztikák alapján az 1000–3000 Hz közötti tartomány javulása. A beszéd érthetősége szempontjából pedig ez a tartomány kritikus.

Mi sem igazolja jobban a CB 35-ös készüléktípusnak a sikerességét, mint az, hogy még az 1990-es években is ezerszám volt üzemben a magyar telefonhálózatban. További érdekes adalék a történethez, hogy ennek a készüléknek az elterjedése komoly új problémákat is felvetett. A megnövelt vételi érzékenység az összeköttetések közötti áthallásokat számos esetben kiemelte az éppen hallható tartományból az érthető tartományba. Ez egyrészt zavaró volt, másrészt a

telefon titkosságát fenyegette, így az áthallási csillapítás megengedhető értékét meg kellett emelni, és az áthallás kiküszöbölésére szolgáló módszereket kellett fejleszteni.

Összefoglalva Békésy György megközelítésmódját és problémakezelését, két dolgot emelt ki visszaemlékezéseiben ebből a korszakból:

- mindig magasabb szinten érdeklődött a problémák és a mögöttük álló dolgok iránt, mint ami szokásos volt a Posta Kísérleti Állomás laboratóriumaiban;
- egyszerű eszközöket próbált használni kísérleteihez, és a kérdésfelvetést próbálta egyszerűsíteni addig a mértékig, míg az egyszerűbb eszközzel is válasz nyerhető.

Nem említi kifejezetten a visszaemlékezésében, de világosan kiolvasható, hogy az embert, mint az egész részét ő nagyobb súllyal vette tekintetbe, mint munkatársai.

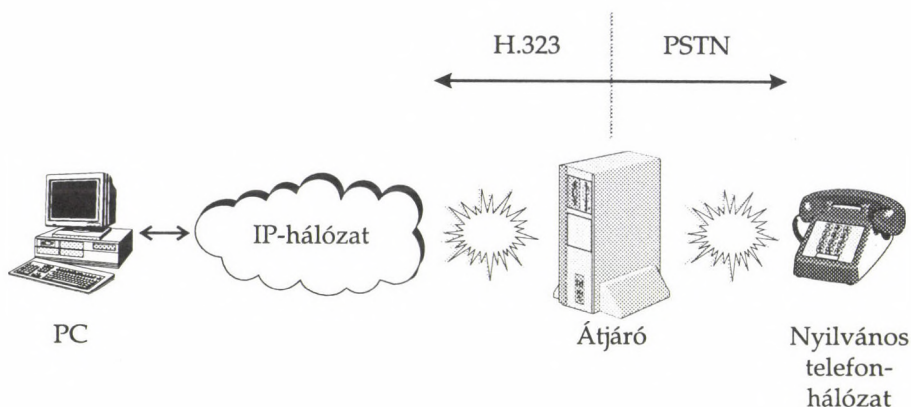
Békésy és az internettelefon

Furcsának tűnhet egymás mellé állítani a fenti szavakat, pusztán az időkülönbség miatt is, mert amikor az internet kezdetleges csírái létrejöttek, Békésy már nem alkothatott. Mégis könnyen fellelhetők az összekapcsoló szálak:

- ma az internettelefon hasonlóan korai fejlődési szakaszában van, mint a telefon Békésy korában;
- a minőségi problémák hasonló szintűek (nem az Internet alapelveiből fakadóan, hanem a mai nyilvános hálózatok forgalmi helyzeteiből adódóan);
- ismét az ember és a gép összeillesztése problematikus;
- ismét a technikai erőforrások bőkezű felhasználása oldaláról keressük a megoldást;
- ismét egy szakma privilégiuma a megoldáskeresés, pedig a sokoldalú megközelítés sokkal reményteljesebb;
- a mai széles körű tudóstársadalomnak éppúgy nincs már hangélménye a Békésy előtti telefonminőségről, mint ahogyan még nincs az internettelefonról.

A fogalmak egyértelmű használata kedvéért tekintsük át a továbbiakban, mit jelent az internettelefon. A beszédátvitelnek legalább egy része IP protokoll szerint működő hálózaton keresztül valósul meg. Ez megvalósulhat két számítógép között is, számítógép és egy hagyományos telefonhálózathoz kapcsolódó telefonkészülék között is vagy akár két hagyományos telefonkészülék között is. A számítógépnek természetesen rendelkeznie kell hangkártyával, hallgatóval, mikrofonnal, illesztőprogramokkal. Ha a hagyományos telefonhálózat is bekapcsolódik a rendszerbe, akkor szükség van még a két hálózat eltérő beszédközlési eljárását és protokollját illesztő átjáróra is. Ez ma már egy szabványosított hálózatelem, bár még kevesen gyártják. Egy közepesen összetett esetet mutat az

alábbi ábra. A hívás egy multimédiás számítógéptől indul, és egy hagyományos telefonkészülékben végződik.



Elvi akadálya nincs annak, hogy a beszéd-összeköttetés minősége ne legyen semmivel rosszabb, mint egy szokásos telefon-összeköttetésé. Az átjáró önmaga nem korlátoz ebben, a számítógép hangkártyája sem. Megfelelő erőforrásokat feltételezve az IP hálózat sem. Nem a berendezésgyártók okolhatók, ha a kiváló minőség nem jön össze.

Egy mai, szokásos nyilvános internethálózatot feltételezve, a „felhőben” mégis meglepően rossz, érthetetlen beszédkapcsolatot is kifoghatunk. A hálózat működési elvéből fakadóan a pillanatnyi forgalomtól függően a beszédcsomagok késleltetve érkeznek, a késleltetés ingadozik, a csomagok elveszhetnek, rossz sorrendben is érkezhetnek a vételi oldalra. Még néhányszor 10 kbit/s átlagos csatornkapacitás esetén is az összeköttetés minősége jóval rosszabb, mint a GSM mobiltelefonok ma már egyre megszokottabb beszédminősége. Pedig ott csak kb. 13 kbit/s csatornkapacitás áll rendelkezésre. A hálózat a legjobb szándékkal kezeli az adat/beszéd csomagokat. Ha a pillanatnyi forgalmi helyzet miatt ezt nem győzi, akkor áll elő a drasztikus minőségromlás a beszédjelen.

Mi áll a probléma hátterében? Az, hogy az internet fejlesztői nem az emberi beszédre gondolva alkották meg a rendszert.

Melyik itt a leggyengébb láncszem? A „kattanásos módszer” most nem vezetne eredményre, de Békésy nyomdokain járva bizonyosan fellelhető a megoldás.

Hogyan illeszkedik mindez a végfelhasználóhoz, az emberhez? Ennek megítélésében már közvetlenül alkalmazhatók Békésy eredményei is.

Köszönetnyilvánítás

A Postamúzeum eredményes múltmegőrző munkája Dr. Kovács Gergelyné és munkatársainak segítségével, a PKI Távközlés-fejlesztési Intézet akusztikai laboratóriumának igénybevétele Brebovszky Judit és munkatársainak segítségével, az Ericsson Magyarország legújabb rendszereinek felhasználása Ács György és munkatársainak segítségével nélkül nem készülhettek volna el a beszéd-felvételek és mérések, nem jött volna létre az előadás, együttes köszönetet érdemelnek tehát mindannyian.

MICHELBERGER PÁL

A szubjektív kockázati tényezők csökkentése

Bevezetés

A Békésy-centenárium előadásai a Nobel-díjas tudós színes életével, tudományos eredményeivel és az ezeket az eredményeket továbbfejlesztő kutatásokkal foglalkoznak. Mit keres ebben a gazdag tudománytörténeti, fizikai, orvosi és műszaki megközelítésben a kockázat, amivel Békésy sem és az őt követők sem foglalkoztak? Úgy vélem, hogy Békésy kutatásainak központjában valójában nem a fizika, akusztika vagy az orvostudomány, hanem maga az ember állt, az „ember” a maga objektív és szubjektív tulajdonságaival. Így érthető az ünnepi ülést szervezők felkérése erre az előadásra, hiszen a kockázat szűkített értelemben ugyancsak az „embert” helyezi vizsgálatai középpontjába.

Ennek ellenére további kétségek is támaszthatók a jelen előadás indokoltságát illetően. Az emberi életet érintő kockázatokról a közelmúltban jelent meg Vajda György akadémikus kitűnő, *Kockázat és biztonság* című könyve, az 1998. évi akadémiai közgyűlésen jó nevű előadók tartottak értékes előadásokat, és ezek az előadások meg is jelentek a Magyar Tudományban és a *Közgyűlési előadások 1998* című kötetben. A szerzők minden lényegeset elmondtak és megírtak a kockázatról, bemutatták a műszaki élet, a mezőgazdaság, a közlekedés, a természeti katasztrófák, a műtétek, a gyógyszerfogyasztás, az élelmiszer-termelés kockázatait; ahogy Marx György akadémikus szellemes dolgozatcímében megfogalmazta: „Születni veszélyes”.

Több száz oldalt végigolvasva és végiggondolva, végül is mások idézése helyett egy modellen kísérlem meg bemutatni a kockázat szubjektív oldalát, mely azonban elválaszthatatlan a kockázat objektív oldalától.

A kockázat szubjektív tartalma

Induljunk ki Marx Györggyel egyetértésben, a kockázat „objektív” mérőszámából:

$$R = W K,$$

ahol $0 < R \leq 1$ = a kockázat,

$0 < W \leq 1$ = a kárt okozó esemény bekövetkezésének valószínűsége időegységre vonatkoztatva (1 esetben biztosan bekövetkezik),

$0 < K \leq 1$ = a károsodás súlyossága (1 esetben halál a következmény).

Az irodalomban bőségesen találhatunk számadatokat mindhárom fogalomra, és ezzel az objektivitás látszatát kelthetjük az Olvasóban. Sajnos azonban W -t általában túlságosan kis mintából (statisztikailag elégtelen minta) számítják, és az eloszlásfüggvényt is többnyire becslés alapján választják meg. A károsodás súlyosságának megítélése ugyancsak becslésen alapul, egyelőre még nincs megbízható objektív károsodási skálánk, így ebben is ki vagyunk szolgáltatva a kockázatanalízissel foglalkozók szubjektív döntésének. Legnagyobb a bizonytalanság a több egyidejű vagy közel egyidejű károsító hatás szinergizmusának megítélésében. A természettudósok hajlamosak a hatások egymástól független vizsgálatára, hiszen így tisztább képet kaphatnak az adott jelenségről. Az egymástól független vizsgálatokból sajnos könnyen adódhat olyan következtetés, hogy nincs szinergikus hatás. E téren az orvos kutatók jutottak legközelebb az objektív kockázat (károsodás) megítéléséhez, ők már szisztematikusan vizsgálják például a különféle gyógyszerek együttes szedésének élettani hatásait, a cigarettazás és alkoholfogyasztás együttes károsító hatását stb.

A károsodás természetesen mindig emberi szervezetet érint, és így a károsodást szenvedő személy egyéni tulajdonságaitól is függ azonos hatás esetén a károsodás mértéke. Más egy beteg gyermek vagy nő ellenálló képessége, mint egy egészséges, sportoló, felnőtt férfié. Az egyéni károsodásérzékenység tehát kortól, nemtől, egészségi és edzettségi állapottól is függ, és természetesen az időben változó mértékű.

A károsodást előidéző esemény lehet természeti eredetű (például földrengés, szélvihar, árvíz stb.), de igen sokszor személyek okozzák, sőt előfordulhat, hogy a károsodást okozó és elszenvedő ember ugyanaz a személy (például gépkocsi-vezető által okozott és elszenvedett közlekedési baleset következménye). Így a károsodás mértéke és előfordulási valószínűsége is függhet a károsodást okozó személy szubjektív tulajdonságaitól. Ennek a szubjektív tulajdonságnak befolyása jól lemérhető a közlekedési balesetek országonként szignifikánsan eltérő kockázatán. (Közel azonos gépkocsisűrűség és forgalom mellett a mediterrán országokban jóval nagyobb – közel 2-3-szoros – a gépkocsibaleset kockázata, mint az északibb országokban.) Ezt csakis a mentalitásbeli eltérésekkel (részben öröklött, részben tanult) magyarázhatjuk.

Nem lenne teljes a kockázat szubjektív oldalának vizsgálata a sajtó (írott és elektronikus) szerepének megemlítése nélkül. Már Marx György is említette az 1998-as előadásában a kockázatbecslés sajtóban történő megfogalmazásának félrevezető hatását: „...a harrisburgi reaktor-üzemzavar alkalmával [...] kémiaiilag

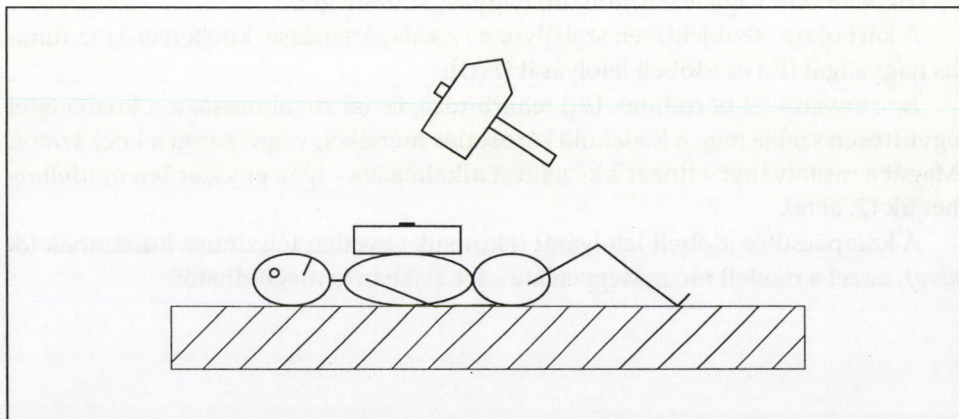
megfoghatatlan nemesgázok kikerültek a légkörbe. A környező négymillió lakost érő sugárterhelést az egyik lap így kommentálta: A rákveszély megnövekedése nem több, mint ha fél cigit elszívnaál egy alkalommal. (Ugye milyen megnyugtató?) Egy másik újság így írt: A technokrata felelőtlenség várhatóan két ártatlan polgár életébe kerül (Ugye milyen szörnyű?) [...] A két közlés matematikailag egyenértékű!"

Természetesen a média és a sajtó szubjektív beállítására hazai példákat is találhatunk bőségesen. Az ausztriai téli autóbuszbalet 18 halálesete valóban tragikusan érintette az áldozatok családait és iskolájukat, a TV heteken keresztül szinte minden híradásban visszatért a hírre, és nem törődve az érintettek érzékenységével, sugározta sokkoló képeit, míg a napi 2-3 halálos közlekedési balesetről (nyári hétvégeken akár 4-6 haláleset – diszkóbaleset – is előfordul) meg sem emlékeznek.

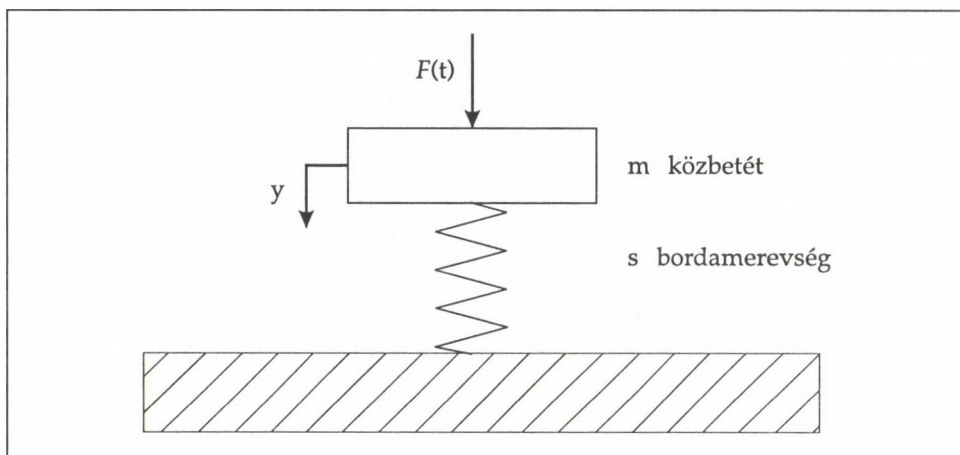
A nagyközönség számára a kockázat objektív mérőszámai semmit sem mondanak, a nagyközönség az újságokat olvassa, vagy a TV-t nézi, és az ott látottak alapján ítéli meg a kockázatot. („Ugye, milyen szörnyű?”) Ezért félnek az igen kis kockázatú repüléstől, és ezért ülnek gondtalanul az igen nagy kockázatú motorkerékpárra. (Az utaskilométerre vonatkoztatott kockázat az utóbbinál legalább két nagyságrenddel nagyobb, több, mint százszoros.)

A szubjektív kockázati tényezők modellezése egyszerűsített példában (egy artistamutatvány kockázata)

Az olvasók jelentős része látta már azt a páros artistamutatványt, melyben az egyik artista mellkasán közbetéten (1. ábra) keresztül egy másik artista követ tör egy



1. ábra



2. ábra

hatalmas kalapáccsal. Az esemény biztosan bekövetkezik mindennap, így az előfordulás valószínűsége 1, a kockázat ennek megfelelően a károsodással egyenlő.

$$R = K. \quad (1)$$

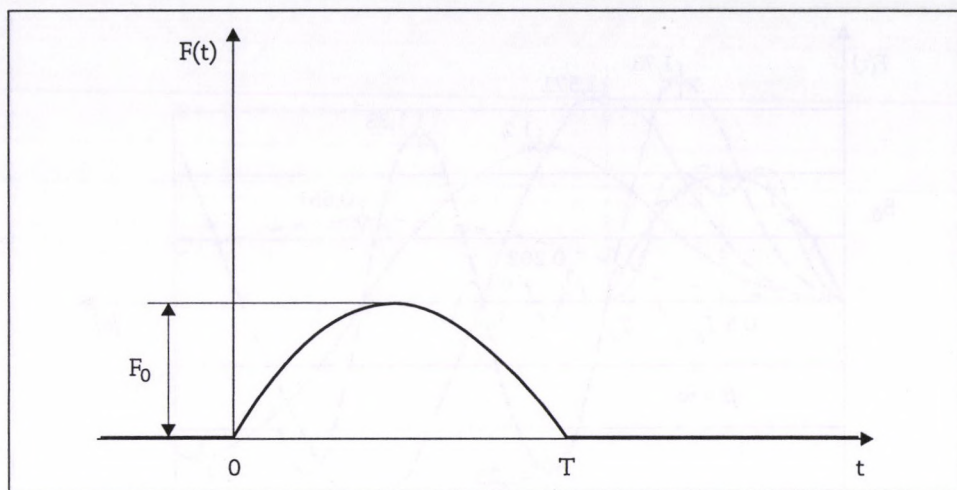
A károsodás a kárt okozó személytől (kalapácsos artista), a szenvedő féltől (fekvő artista) és az esetleges szinergikus hatásoktól függ (pl. pillanatnyi egészségi állapot).

A kárt okozó és kárt szenvedő közösen, szubjektíven választja meg a kalapács és közvetítő (kő- vagy acéltömb) (m) nagyságát (tömegét).

A kárt okozó szubjektíven szabályozza a kalapácsütéssel kifejtett erő maximális nagyságát (F_0) és időbeli lefolyását [$F(t)$].

A szenvedő fél bordáinak (B_0) teherbírása, és (s) rugalmassága a közvetítővel együttesen szabja meg a kialakuló károsodás mértékét, végső soron a kockázatot. Magát a mutatóványt – lineáris közelítést alkalmazva – igen egyszerűen modellezhetjük (2. ábra).

A kalapácsütés időbeli lefolyását tekintsük egyetlen félszinuszos hullámnak (3. ábra), ezzel a modell mozgásegyenlete zárt alakban is megoldható:



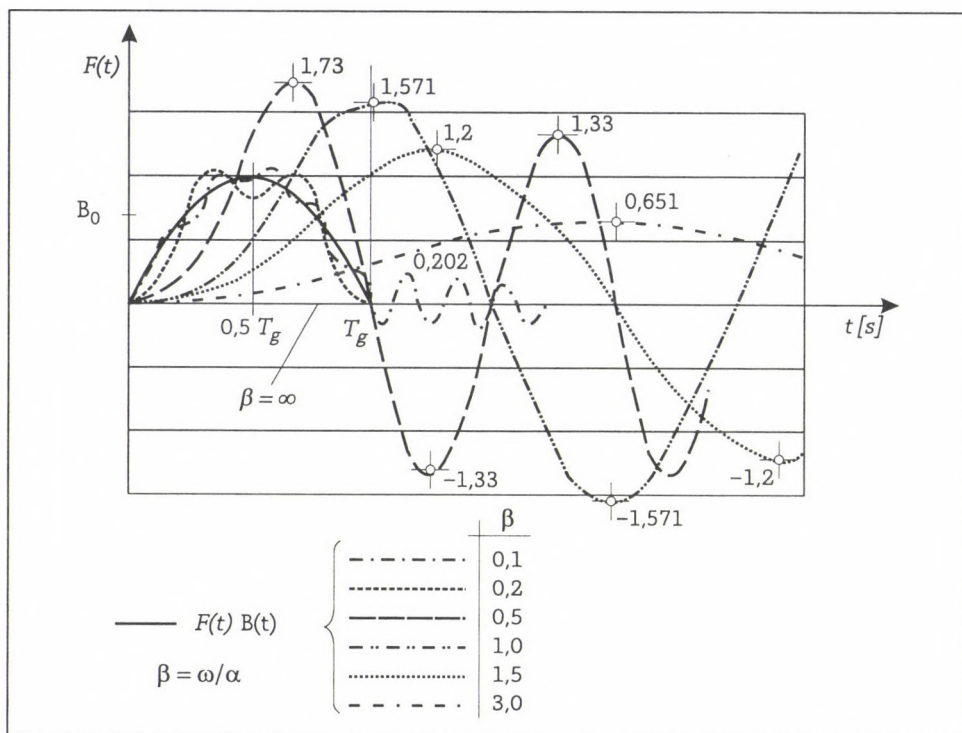
3. ábra

$$\left\{ \begin{array}{ll} m\ddot{y} + sy = F(t) = F_0 \sin \omega, & \text{ha } 0 < t < T \\ m\ddot{y} + sy = 0 & \text{ha } t > T, \text{ vagy } t < 0 \end{array} \right. \quad \left(\omega = \frac{2\pi}{2T} \right) \quad (2)$$

A mozgásegyenlet zárt alakban megoldható:

$$\left\{ \begin{array}{l} y(t) = 0, \text{ ha } t < 0 \\ y(t) = \frac{1}{m\alpha} \int_0^t F(\tau) \sin \alpha(t - \tau) d\tau, \text{ ha } 0 < t < T \\ y(t) = \frac{\dot{y}(T)}{\alpha} \sin \alpha(t - T) + y(T) \cos \alpha(t - T), \text{ ha } t > T, \text{ ahol } \alpha = \sqrt{\frac{s}{m}} \end{array} \right. \quad (3)$$

A bordák y összenyomódását figyelembe véve a fekvő artista bordáira ható B erő is meghatározható az idő függvényében a $0 < t < T$ szakaszban:



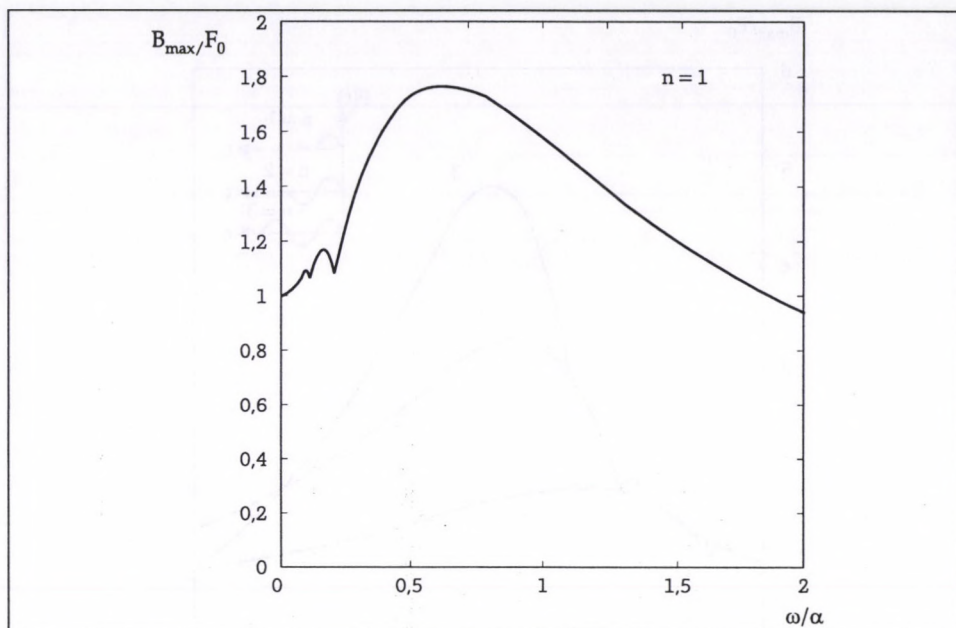
4. ábra

$$\left\{ \begin{array}{l} B(t) = sy(t) = F_0 \alpha \frac{\omega \sin \alpha t - a \sin \omega t}{\omega^2 - \alpha^2}, \quad \text{ha } \omega \neq \alpha \\ B(t) = sy(t) = \frac{F_0}{2} (\sin \omega t - \omega t \cos \omega t), \quad \text{ha } \omega = \alpha \end{array} \right. \quad (4a)$$

míg a $t > T$ időszakban

$$B(t) = s \left[\frac{\dot{y}(T)}{\alpha} \sin \alpha(t - T) + y(T) \cos \alpha(t - T) \right] \quad (4b)$$

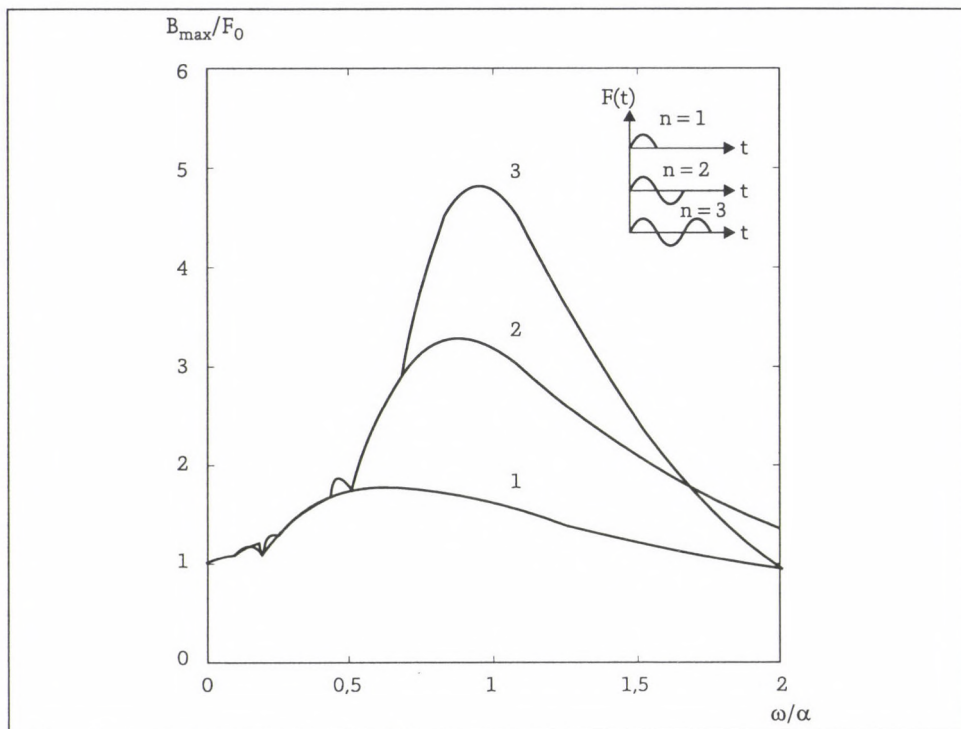
Bár a (4a) és (4b) összefüggések teljesen egyértelműen írják le az artista bordájára ható erő időbeli lefolyását, lényegesen könnyebben tekinthető át diagramban



5. ábra

ábrázolva (4. ábra) a erő alakulása különböző (ω/α) értékekre. Látható, hogy a erő maximuma általában nem a 0,5 T időpontban következik be, sőt lehetséges, hogy a kalapácsütés befejezése után késleltetve észleljük. A erő maximuma ugyancsak az (ω/α) viszonyzámtól függően nagyobb és kisebb is lehet F_0 értékénél. Ennek áttekintésére felrajzoltuk a hányadost is ω/α függvényében (5. ábra), ez általában nagyobb, mint 1, ha $0 < \omega/\alpha < 1,87$, és kisebb mint 1, ha $\omega/\alpha > 1,87$. A bordákra ható erő maximuma a $0 < t < T$ idő-intervallumban következik be, ha $\omega/\alpha \leq 1$, és késleltetve a $0-T$ idő-intervallumon kívül (tehát az ütés után), ha $\omega/\alpha > 1$. Nyilvánvaló, hogy az artistamutatvány kockázatának csökkentéséhez nagy ω/α értéket kell a mutatvány során megvalósítani annak érdekében, hogy a megengedhető B_0 bordaerő értéket ne lépjük túl. Nagy ω/α értékhez igen rövid ütési idő, nagy m tömeg és viszonylag kis bordamerevség tartozik. Mivel a bordák merevsége az artistánál adott, ezért az m tömeg növelésével és a T ütési idő csökkentésével lehet a folyamatot kedvező irányban szabályozni.

A modell igen elnagyolt, ezért a következtetésekkel igen óvatosan kell bánni, a valódi mutatványban a tömeg-rugó rendszer csillapítással is rendelkezik, és biztosan nem lineáris. A kalapácsütés időbeli lefolyása nem fél szinuszhullám alakú. Maga az ütés nem korlátozódik a $0 < t < T$ idő-intervallumra, hanem T után további kisebb-nagyobb másodlagos ütések is megjelennek a mutatványban,



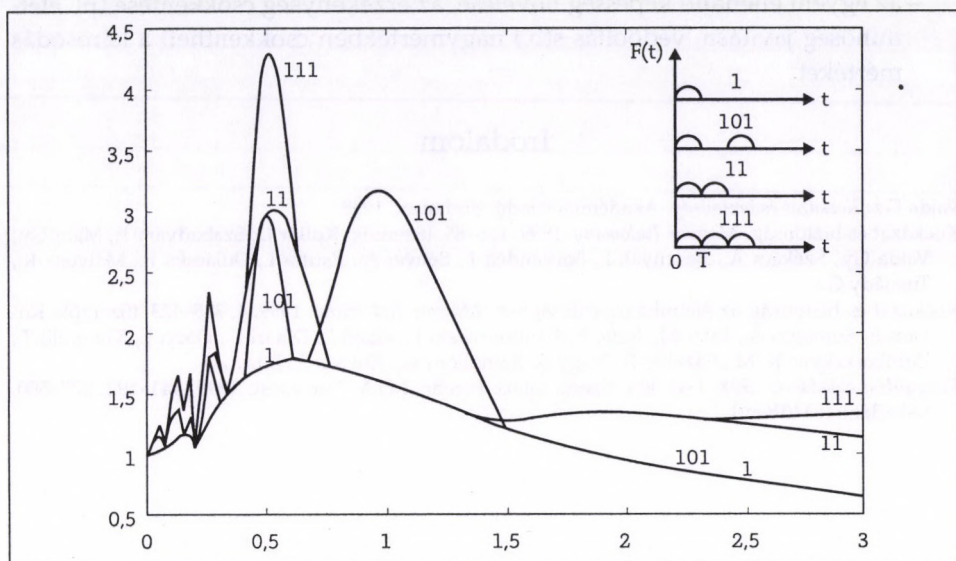
6. ábra

melyek elsősorban a kötőrésben szereplő anyagok tulajdonságaitól és a kalapács rugalmasságától függenek.

A modell, minden hibája ellenére, minőségileg jól mutatja a vizsgált esemény kockázatának függését a mutatóban részt vevők objektív és szubjektív tulajdonságától, illetve döntésétől. A modell lehetővé teszi szinergikus hatás vizsgálatát is. Tekintsük például az egymás után, rövid időközökben ismételt ütések hatását. A 6. ábrán összefoglaltuk az $n = 1, 2$ és 3 fél szinuszhullám szerint változó $F(t)$ erőből keletkező bordaerő és ütőerő maximumának viszonyát ω/α függvényében. A diagramból megállapítható, hogy ω/α értékétől függően három különböző eset fordulhat elő:

- B_{\max} értéke független az n -től (kis ω/α értékeknél),
- B_{\max} n növekedésével növekszik ($\omega/\alpha = 1$ esetében fél hullámhosszonként azonos értékkel nő),
- B_{\max} n növekedésével csökken (nagy ω/α értékeknél).

A megállapítások a mechanikai modell tulajdonságainak a következményei, de az analógia kézenfekvő a harmadik esetben a fiziológiai edzettséggel.



7. ábra

Még érdekesebben alakulnak a B_{\max}/F_0 arányok, ha az $F(t)$ hatást egyoldalas szinusz félhullámok sorozatának képzeljük el, esetenként kihagyásokat is feltételezve (7. ábra). A diagram tekinthető akár az egymás után elszívott cigaretták okozta nikotinkárosodás ábrájának is. A károsodás mértéke az ismétlődési számtól és az ω/α arányszámtól (a cigarettázás időbeli befolyásától) is függ, és természetesen a károsodást befolyásolhatja a szervezetben kifejlődő ellenálló képesség is.

Következtetések és feladatok

A szubjektív kockázati tényezők csökkentésére Vajda 4 lehetőséget említ könyvében:

- adminisztratív kényszer (törvény, rendelet és számonkérés),
- gazdasági ráhatás (anyagi érdekelttség megteremtése),
- tudatformálás (képzés, nevelés, sajtó, elektronikus média stb.),
- operatív kockázatcsökkentés (pl. a szubjektum kikapcsolása automatizálással).

A felsorolt lehetőségekkel messzemenően egyetérthetünk, de az e dolgozatban tárgyalt példa tanulságai alapján ki kell egészíteni néhány további feladattal:

- az objektívnek tekintett $R = WK$ kockázat valójában mind W , mind K tekintetében még számos bizonytalanságot, szubjektív elemet tartalmaz, ezért e területen még további elmélyült kutatásra van szükség;

- az egyéni ellenálló képesség növelése, az érzékenység csökkentése (pl. életminőség javítása, védőoltás stb.) nagymértékben csökkentheti a károsodás mértékét.

Irodalom

Vajda Gy.: *Kockázat és biztonság*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1998.

Kockázat és biztonság. *Magyar Tudomány*, 1999, 1, 3–85. (Szerzők: Kollár L., Szabadváry F., Marx Gy., Vajda Gy., Székács A., Besznyák I., Borvendég J., Bényei A., Zsuffa I., Dulácska E., Mályusz K., Tusnády G.)

Kockázat és biztonság az élelmiszergazdaságban. *Magyar Tudomány*, 1999, 4, 385–423. (Szerzők: Kovács F., Somogyi A., Füzi M., Rafai P., Banczerowski J., Világi I., Détári L., Dóczy J., Kukorelli T., Zomborszky K. M., Fazekas B., Nagy B., Szmollény G., Kovács S., Bitay Z.)

Közgyűlési előadások 1998. I–II. köt. Szerk. Glatz Ferenc. MTA, Budapest, 1999, 141–192, 377–500. (Akadémiai Műhely)

Békésy György kulturális gyökerei és interdiszciplinaritása

Békésy György édesapja, dr. Békésy Sándor (1860–1923), debreceni származású nemesi család gyermekeként Kolozsvárott született, és közgazdász volt. Édesanyja, Mazaly Paula (1877–1974), szlovén családból született Cadjavičon, gyermekkorában tanult meg németül. 1898-ban házasodtak össze; 1899. június 3-án fél 12 órakor született első gyermekük, a későbbi dr. Békésy György (1899–1972), alias Georg von Békésy Budapesten, a Pauler utca 1. számú házban. Húga, Békésy Lola (1901–1989), Passuth László felesége lett. Öccse, dr. Békésy Miklós (1903–1980), Kossuth-díjas agrobiológus. A gyermekeknek „nem volt anyanyelvük”: anyjuk németül, apjuk magyarul szólt hozzájuk. Békésy György magyarul és németül jól beszélt, később franciául és angolul is megtanult, no meg kicsit olaszul és latinul – de előadásaiba mindvégig gyakran kevert német szavakat.

A család 1904 és 1909 közt Münchenben élt. (A család éghajlat-változtatásában szerepet játszott a fiú gyenge tüdeje, ingatag egészsége.) György ott kezdte iskoláit. Élvezte a bajor főváros művészeti életét, amit kétségkívül művelt szüleinek baráti körén keresztül ismerhetett meg. Nyolcéves korában egy műteremben mély benyomást tett rá a *modell* és a *szobrász* munkája „a folyamat ellentétes végein”, ahogy aktívan hozzájárultak közös alkotásuk megszületéséhez. Élményét később is felidézte, a *tanár* és *tanítvány* egymást kiegészítő szerepének hasonlataként.

1909-ben diplomata édesapját Isztambulba vezényelték. Vele költözött a család, ahol a fiatal fiú megismerkedett a dekadensen még csillogó Török Birodalom kultúrájával, a Boszporusz naplementéinek szépségével. Jezsuita iskolába járt, ahol francia volt a tanítás nyelve. Itt érte az Török Birodalom összeomlása, az ifjútörökök forradalma.

1912-ben rövid időre visszajöttek Budapestre, 1913-ban a Petőfi (akkor Werbőczy) Gimnáziumba járt. 1914-ben Zürichbe költöztek. György élvezte a svájci gimnáziumot, ahol – megfelelő órára beülve – minden gyerek saját tempója szerint haladhatott a különböző tantárgyakból. Békésy 1915-ben (16 évesen) érettségizett, de fiatal kora miatt nem iratkozhatott be az egyetemre, így egy svájci órás-mester inasa lett. A gondos és pontos mechanikai munka elsajátítása nagyon

pozitív szerepet játszott későbbi karrierjében: a belső fül szerkezetének, akusztikai működésének virtuóz feltárásában, kikísérletezésében, mechanikai modellezésében. Noha leginkább a *csillagászat* érdekelte, 1919-ben beiratkozott a Berni Egyetemre – *vegyésznek*. 1918-ban Budapestről megérkezett a katonai behívó, György meg is jelent a sorozáson, de gyenge egészsége miatt nem osztották be frontszolgálatra. Az első világháborút követő forradalmak során/után a család elvesztette budapesti ingóságait. Békésy György 1919–1921 közt befejezte a Berni Egyetemet, megkapta a vegyészmérnöki diplomát.

A fiatal mérnök talán Svájcban is maradhatott volna, de ő hazajött Budapestre, a Fő utca 19. műteremlakásába, – *hogy ő is segítsen Magyarország újjáépítésében*. A pesti tudományegyetemen Tangl Károly professzor mellett 1923-ban doktorált fizikából. (Témája a folyadékok diffúziós együtthatójának mérése – ezáltal molekulásúlyuk meghatározása – volt interferencia-spektroszkópiával.) A kezdődő gazdasági válság közepette állást kellett keresnie. A valóságot saját kezével-érzékszerveivel kívánta fürkészeni. A Tungsramnál hiába próbálkozott, így azután a Posta Kísérleti Állomásnál kötött ki (1923–1946).

Ebben az időben diplomáciai jegyzékek érkeztek Prágából és Belgrádból – nem mindig udvarias hangnemben –, amelyek a magyarok szemére vetették a hazánkon átmenő interurbán telefonvonalak zajos voltát. A probléma megoldását a legfiatalabbra, Békésyre bízta. Ő a vonalminőséget frappánsan vizsgálta meg: a kapcsoláskor hallható kattánás hangszínét analizálta a vonal végén. (Hiszen a $\delta(t)$ függvény Fourier-spektrumában minden frekvencia benne van!) Egy idő után már a távoli klikk meghallása alapján meg tudta mondani, hogy mi a hiba, és az hol van. (Közben még elzarándokolt Berlinbe is, a modern fizika és technika fellegvárába – a kor nagy magyar fizikusaihoz hasonlóan: egy évet dolgozott a Siemensnél, 1926–1927.)

Békésy rájött, hogy a hű jelátvitel leggyengébb pontja a mikrofon, sokkal tökéletlenebb az emberi fülnél. A következő logikus lépés: emberfejek kicsempészése az Orvoskar *boncterméből*, a belső fül felnyitása és működésének megértése. Ennek során megcáfolta a nagy Helmholtz halláseméletét, aki a hangmagasság érzékelését a belső fül csillószálainak sajátrezgéseire próbálta visszavezetni. Briliáns kísérleti-műszaki technikával mérte a hártya hidrogénatom-átmérőnél kisebb amplitúdójú rezgéseit a fülfolyadékban keltett haladóhullámokat. Megmutatta, hogy a hangmagassághallás a különböző frekvenciákkal keltett haladóhullámok különböző helyeken történő amplitúdó-felerősödésének csillószálak által történő regisztrálása. Az 1930-as években nem maradt el a *külföld* elismerése: a Német Fülészeti Társaság Denker-díja (1931), a Német Tudományos Akadémia Leibnitz-érme (1937), a Groningeni Egyetem Guyot-díja (1939). Békésy Györgyöt az Uppsalai Egyetemre hívta Bárány Róbert, aki megfejtette a belső fül

szerepét az irány(egyensúly)érzékelésben, és ezért Nobel-díjat is kapott. Ezt a meghívást Békésy György – tüdejét féltve a hosszú svéd telektől – nem fogadta el.

1940-ben végre a budapesti tudományegyetem meghívta a Gyakorlati Fizikai Tanszék vezetésére (1940–1946). Ezt postakísérleti munkája mellett látta el. Nem volt ugyan ragyogó előadó, de előadásaiiban a tények közlése helyett a problémák megválaszolásának fizikusi módszerét kívánta megtanítani. Tanársegédeknek is jó műszerészekké kellett válniuk, mert ő maga az volt. A laboratóriumban bevezette, hogy a hallgatók közreadott listából kiválasztott, de önállóan megtervezett, összeszerelt és elvégzett kísérlettel tegyenek bizonyosságot gyakorlati fizikatudásukról. Ekkor azonban már folyt a második világháború. 1944. április 30-án amerikai bombatalálat lerombolta postai laboratóriumát. Az utcai harcok lövedékeinek robbanása betörte Múzeum körúti egyetemi laboratóriumának ablakait, szétfújta feljegyzéseit. Orosz ágyútűzben a Fő utcában megsemmisült a szomszéd ház. Erre 50 év múltán így emlékezett vissza:

„A falakból csak egy méter maradt. A tűzérzési tűz és a bombázás föltárta előttünk Budapest tragikus múltját. A legfelső szintet a 19. században eklektikus stílusban épült házak alkották. Egy réteggel mélyebben a tiszta empire stílus mutatkozott meg. Még mélyebbre vezető lépcsőfordulók a barokk stílus jegyeit mutatták. Ahol a gránátok és bombák nagyobb lyukat vágtak, gót stílusban faragott köveket, még lentebb román alakzatokat találhatunk. Ez a sorozat bemutatta Budapest egész történelmét a rómaiak idejétől mai modern világunkig. 2000 év alatt sokszor lerombolták ezt a várost. De minden alkalommal fölépítették ugyanazon a helyen. Az a benyomásom: egy földhöz való ragaszkodás, egy kitűzött cél végigkövetése magyarázza, hogy Magyarország hosszú távon, még ma is jelentősen hozzájárul világunk kultúrájához.”

Békésy szervezte a tűzoltást, szervezte az egyetemi labor újjáépítését – a kiürítés elől elrejtett műszerekkel. Mint mondotta volt: *„A kísérletek túléltek a politikusokat.”*

Ebben a helyzetben már nem tudott ellenállni Holgren és Zotterman stockholmi meghívásának (1946–1947), ahol végre módja nyílt, hogy halott emberfejek helyett élő majmok fülével kísérletezzon. Itt már sor került kutatásainak orvosi alkalmazására is. Maga azonban – mivel egészségét az orvosok nem tudták stabilizálni – szkeptikus maradt: *„Szomorú, ha az ember az orvostudományban dolgozik, és mégsem bízik az orvosok tudományában.”* Közben itthon is történt egy és más: amikor külföldi tanulmányútjának egyéves meghosszabbítását kérte, a tudományegyetem válaszul megfosztotta katedrájától. (Történt már ilyen ugyanezen tanszék előző vezetőjével, Hevesy Györggyel is, egy háborúval korábban.)

Békésy György Amerikában kötött ki, a Harvard Egyetemen. A Memorial Hall alagsorában építette fel az Érzékszervek Élettanának Laboratóriumát. Itt már a fül működéshű mechanikai-elektromos modelljeit szerkesztette meg, amelyek igazolták hallásmélettét. A Harvardon (1948–1966) mégsem érezte magát egészen otthon: ott mindig újra kellett pályázni pénzért kutatásai céljára, leírva, hogy

a következő 5 évben mit fog kutatni, és milyen eredmény elérését tervezi. „Érdekes elgondolni, hogy Picasso »kék korszakának« befejeztekor miként írta volna le pályázatában, hogy a »rózsaszín korszak« megnyitását tervezi.” Élete harmadik tragédiájaként mégis azt élte meg, amikor leégett a Memorial Hall, és ismét odavesztek műszerei, jegyzetei, könyvei. Megint újra kellett kezdeni...

Békésy György 1966-ban elfogadta a Hawaii Egyetem meghívását. Itt már azon a területen járt, amit ma *jelfeldolgozásnak* mondanánk. A fül elképesztően halk jeleket is meghall és ért. Ezt csak úgy érheti el, hogy nem a hang energiája kelti az érzetet, hanem a hangjel kiolt bizonyos blokkolást; így felszabadul az e célra alkalmasan tárolt energia. Kimutatta, hogy az érzékszervek (fül, szem, tapintás) irányérzékelése azon múlik, hogy az elsőnek érkezett jel erős idegi (elektromos) ingert vált ki a beérkezés helyén, egyszersmind blokkolja a szomszédos érzékelőket, hogy azok addig ne aktiválódjának, amíg ugyanonnan ugyanoda meg nem érkezik a második jel is, megerősítve az információt. Így elindult az érzékszervek közös *informatikai* elméletének kísérleti megalapozása és kidolgozása felé. Ez az út mind közelebb vezette a művészethez. (Még az egyik Nobel-ceremóniáról is azért késett el, mert a svéd királlyal belefeledkezett keleti kerámiák műelemzésébe.) Az foglalkoztatta, hogyan fejezik ki, hogyan tükrözik a különböző (európai, afrikai, indián, távol-keleti) kultúrák műalkotásai a valóság komplementer (egymást Békésy fejében kiegészítő) aspektusait: „A szépség és hasznosság ugyanannak két különböző oldala.” Hawaiiiban együtt élt az euroamerikai, polinéz, kínai és japán kultúra. Legjobb barátja egy Nobel-díjas japán író volt. Autóját rendszeresen megállította, hogy az óceánba bukó napban gyönyörködjék.

1972. június 13-án halt meg. Hamvait – hawaii gitár hangja mellett, polinéz szokás szerint – a Világóceán fogadta magába. Nagy értékű keleti műgyűjteményét a Nobel Bizottságra hagyta.

*

Békésy pályáivét (bolyongásait?) áttekintve két kérdés vetődhet fel. Az egyik: Mi volt ő: Vegyész? Fizikus? Mérnök? Biológus? Orvos? Informatikus? Vagy esztéta?

Természetesen lehet azt válaszolni, hogy bolond/boldog egy ember lehetett... De ilyen abszurd választ csak rossz kérdés válthat ki. A baj az, hogy *vagyilagosan* kérdeztünk. Mert ő mindez volt – postamérnöktől esztétáig – magas fokon. Az interurbán telefonvonalak minőségi megjavításától az elektromos jel, majd a hang hű átvitelén keresztül a hallás funkciójának biológiai-anatómiai-fizikai-informatikai megértésén át az idegrendszer érzékelés-feldolgozó rendszeréig, sőt tovább az esztétikáig nyílegyenes út vezette Békésyt egész életén át. Akik ehhez hasonló pályát nem jártak végig, azok képzelt korlátoktól, nem létező akadályoktól riadnak vissza. (Önmagát leginkább biofizikusnak vallotta.)

Ma, a századfordulón szokás azt mondani, hogy a 20. század a fizika százada volt, de a 21. század a biológia százada lesz. Ebben van igazság, bár Békésy életműve megkérdőjelezi a *de* szócska által sugallt határvonal létezését. Izgalmasak a biológia kihívásai, és hatékony a fizika módszere ezek megválaszolásában. Munkatársa és barátja, Floyd Ratliff szerint „Georg von Békésy valódi reneszánsz ember volt, nagyon széles érdeklődéssel, nagyon mély tudással.”

*

Ezzel elérkeztünk a második kérdéshez, ami számunkra ugyancsak aktuális a mostani ezredfordulón: Ki volt Békésy: Német anyanyelvű hontalan? Magyar nemes? Németországban, Törökországban, Svájcban tanuló vándordíák? Életének egyharmadában Budapesten dolgozott, másik egyharmadát Amerikában töltötte, közben vándorolt országról országra. Beszélt magyarul (is) meg fél tucat más nyelven. Jegyzeteit németül vezette. A második világháború végéig németül, azután angolul publikált. Evidens válasz ez lenne: a világ polgára volt. Van-e jogunk őt magyarnak (is) mondani? Erről talán kérdezzük meg magát Mr. George von Békésyt, aki Hawaiiból 50 év múltán így emlékezett vissza diákkorára:

„Gyermekkoromban szerettem zongorázni. Svájci zongoratanárom Chopint egy svájci óra pontosságával játszotta le. De észrevette, hogy az én játékom – amelyikben voltak kis magyar fordulatok – jobban tetszik a hallgatóságnak! Hogy mint csinálom, azt nem tudtam neki megmagyarázni. Például, amikor nagyon gyorsan végigszaladtak ujjaim a teljes billentyűsoron, az nagyon megragadta, de én ezt nem voltam képes megindokolni. Ilyen variáció nincs a kottában, csak szubjektív improvizáció. Ebben Liszt Ferenc volt nagyon sikeres.”

Békésy akár saját életivére is így gondolhatott, ami őt a zajos interurbán telefonvonalról következetesen vezette az emberi érzékszervek egységes szemléletéig.

„A magyarok szeretnek jól élni. De mit jelent számukra a jó? Észrevették, hogy a kutatás élvezet; így lelkes kutatókká válnak, akik éjszakákat töltenek el a laboratóriumban anélkül, hogy ezért fizetésemelést kérnének. Amerikában ez másként megy: ott az emberek a dollárért dolgoznak. Ez alól akad ugyan kivétel, de a többség számára a gyors eredmény a legfontosabb.”

Az ilyen politikai és diszciplináris határokon szabadon átlépő célratörés különösen szembeszökik a társadalmi stabilitáshoz, politikai nyugalomhoz szokott Amerikában.

„Életem Magyarországon eltelt szakaszára visszatekintve az az érzésem, hogy akkor mélyrehatóbb és jelentősebb tudományos munkát végeztem, mint később az Egyesült Államokban. Amerikában elért eredményeim viszont gyorsabban arattak elismerést” mondomta volt Békésy. Befejezésül tekintsük át Békésy György hivatalos akadémiai karrierjét:

1939: a Magyar Tudományos Akadémia tagjává választja.

1949: a Magyar Tudományos Akadémia törli tagjai sorából.

1956: az amerikai Nemzeti Tudományos Akadémia tagjává választja.

1960: a Berni Egyetem díszdoktorává fogadja.

1961: Stockholmban átveszi a Nobel-díjat.

1969: a Semmelweis Orvostudományi Egyetem díszdoktorává fogadja.

Békésy 1946 óta nem járt Magyarországon, a *Doctor Medicinae Honoris Causa* diplomát a washingtoni magyar követségen vette át. Temetésén ezt mondta a hawaii egyetem rektora: *„Hosszú volna itt felsorolni mindazt a kitüntetést, amit a hangtan és orvostudomány területén kapott. Egy kitüntetés azonban többet jelentett számára – talán még a Nobel-díjnál is. 1969-ben a washingtoni magyar követségen átvette a budapesti Orvostudományi Egyetem díszdoktori diplomáját. Ezt úgy tekinthette, hogy sorsverte, de büszke hazája kért bocsánatot egyik legkiválóbb fiától.”*

Végül is mi Békésy üzenete haza, a mai Magyarországnak?

„A jövőben is verseny folyik majd a különböző országok között. Az az ország, amelyik legjobban és leghamarabb meg tudja oldani a fiatalok tanítását, valószínűleg befolyásolni fogja a világ nagy részének gondolkodását, gazdasági lehetőségeit. Véleményem szerint tudás szempontjából jó egy kis ország polgárának lenni. Mi nem lehetünk egocentrikusak, éberén figyelünk környezetünkre. Egy kis országban több nyelvet kell tanulni, meg kell értenünk a szomszédos országokat. Akik nagy országban élnek, csak annak nyelvét ismerik, alig néhány könyvet olvasnak el. A másik oldal: nem mindig jó kis országban élni, mert sorsa gyakran függ a nagyoktól...”

PALLÓ GÁBOR

A tudomány és művészet találkozási pontján: Békésy György vándorlásai

A Hawaii Egyetem egész történetének legkiemelkedőbb személyisége vitán felül Békésy György volt. Csakhogy ez nem olyan egyetem, mint a többi. Kívülről a legkevésbé sem hasonlít a Természettudományi Kar régi Múzeum körüli épületéhez, sem pedig a Harvardhoz, a Charles River partján fekvő Cambridge komoly, vörös téglás házaihoz. Sokkal inkább kellemes üdülőtelephez, szabadidőközponthoz. Hawaiiiban a professzorok nem viselnek fontosságot jelképező öltönyöket divatos nyakkendőkkal. Sortban és trikóban járnak kitűnően felszerelt könyvtárukba és laboratóriumaikba. Barnára lesült diákjaikról soha nem kerülnek le a színes hátizsákok és a strandpapucs. Felfoghatatlan, hogyan jöhetett éppen ide dolgozni a régi vágású Budapestről az egyik legkülönösebb személyiségű magyar Nobel-díjas. Mi lehetett az oka, és mit csinált itt?

A válasz kiváltképp nehéznek látszik, ha figyelembe vesszük, milyen kitűnően érezte magát Budapesten. Körülbelül húsz évet töltött a belső fül működését vizsgáló intenzív kísérleti munkával 1924-től a Posta Kísérleti Állomáson, 1940-től párhuzamosan a tudományegyetem Gyakorlati Fizika Tanszékén. Egyik nem publikált önéletrajzi visszaemlékezésében ezt írta: „Nagy tanszékem volt sok diákkal. Nagyon szerettem őket, sőt valamennyire még tanítani is szerettem, és szintén nagyon szerettem a műhelyt, meg azt nézni, ahogy a diákok tanulnak. [...] Két laboratóriumom volt, egy állami és egy egyetemi, sőt volt még egy, amelyben egy orvos is dolgozott, aki segített olyan problémákat megoldani, amiket sem az egyetemen, sem az állami laborban nem sikerült megoldanunk. Ez volt életem legproduktívabb korszaka. Reggeltől délig dolgoztam az egyik helyen, délután és este a két másikon. Sok munkatársam volt, és a tudományon kívül szinte semmiről sem kellett beszélnünk.”

Ebből a boldog állapotból taszította ki a háború. Magyarországról való eltávolításának ez volt az egyetlen és lényegi oka. Maga Békésy így emlékezett vissza helyzetére: Egy bombázás után „az egész környéket elpusztították, azt is, ahol laktam, közel a Dunához. A legmagasabb egyben maradt fal körülbelül egy méter magas lehetett. Sok barátom lakott erre felé, találkozni akartam velük, mielőtt

elhatároztam, hogy elmegyek. Belekiabáltam nevüket csak úgy a nagy semmibe, de senki nem jött elő. Egyik nyílástól a másikig mentem, gondolván, kijönnek vízért. Ezekben a nyílásokban láthatóvá vált Budapest tragikus története. [...] Mivel nyilvánvaló volt, hogy nem folytathatom tudományos munkámat, úgy döntöttem, elmegyek Magyarországról.” Minthogy svéd kollégája, Holmgren professzor amúgy is meghívta, dolgozzék Stockholmban, nem kellett sokat töprengenie. A külföldön élés különben sem jelentett nagyobb újdonságot számára. Gyerekkorában megjárta Münchent, Konstantinápolyt és Svájcot, iskoláit ezeken a helyeken végezte, és csak 1918-ban tért vissza a család Magyarországra, az édes-apa diplomáciai szolgálatának lejártá után. Békésy persze egy percig sem gondolt végleges külföldi letelepedésre, éppen csak nem akarta, hogy éveket vegyen el pályájából az újjáépítés. De ki tudja, mi okból, soha többé nem járt Magyarországon, még a Semmelweis Orvotudományi Egyetemről származó díszdoktori oklevelét is Amerikában vette át 1969-ben. Svédországból élénken levelezett kollégáival, mindenben rajta tartotta szemét.

Nem vitás, hogy már ekkor abszolút tudatában volt munkája értékének. Az őt túlélő édesanyja, akivel Békésy egész életében levelezett, egyik levelében megkérdezte, hamarosan megkapja-e a remélt Nobel-díjat, és ezzel elárulta, Békésy már itthon elvárta, hogy kitüntessék. Édesanyja kérdésére egyébként azt válaszolta, onnan a tűz közeléből úgy látja, nagyon sok társadalmi összeköttetésre van szükség a dologhoz, úgyhogy várnia kell. Végül persze csak 1961-ben kapta meg, amikor már Amerikában élt. Ennek ellenére ez a díj alighanem még nagyobb mértékben köszönhető magyarországi kutatásnak, mint Szent-Györgyié, amelyet az egyetlen Magyarországon szerzett Nobel-díjként szoktak ünnepelni.

Egy év múlva Svédországban lejárt az ösztöndíja. Tökéletesített audiométerének elkészítése hiába aratott kiugró sikert, az akkori svéd pénzügyi helyzet nem engedte, hogy maradjon.

Közben itthonról baljós jelzéseket kapott. Testvére, Miklós, az anyarozs-alkaloidák Kossuth-díjas kutatója, beszámolt Békésy tanszékének rohamszerű bevételeiről. Jóllehet a kar nagyon is hajlandónak mutatkozott állását meghosszabbítani, és levélben rendszeresen biztosította nagyrabecsüléséről, egy idő múlva felelős vezetőt kellett találni. Békésy helyettesét, László Zoltánt egyszerűen elbocsátották, és Faragó Pétert, az Egyesült Izzó fiatal kutatóját, 1956 után az edinburgh-i egyetem professzorát nevezték ki utódnak, aki azonban nem tudta megmenteni a tanszéket az odahelyezett négy kezdő, köztük Pál Lénárd és Biderman György, által okozott károktól. 1948-ban, a fordulat évében a minisztérium már nem hosszabbította meg Békésy állását, holott a kar kérelmezte, hogy valami bizonytalan státusa megmaradhasson, hátha egyszer mégis hazajön, és sikerül új laboratóriumot szerveznie. Lassanként a Posta Kísérleti Állomáson is változtak a

viszonyok. Mint külföldön tartózkodót az Akadémiáról is kizárták a nagy átszervezések idején. Nem maradt sok vonzóerő a Harvarddal szemben.

Ide S. Stevens professzor csábította, aki már a harmincas években meglátogatta a Posta Kísérleti Állomáson, és alig hitt a szemének, amikor kikocsizott a város szélére, amiről azt hitte, már a világnak is széle, micsoda fantasztikus színvonalú tudományt látott. Olyant, amelyről Stevens el sem tudta képzelni, hogy Bostontól távol is kialakulhat.

1947-ben Békésy már nem utasította vissza a Steves által kínált ösztöndíjat. A Harvardon a Pszichoakusztikai Laboratóriumban dolgozott, egy idő múlva a pszichofizika főkutatójaként, mentesítve az oktatástól, teljes idejét a tudománynak szentelve. Itt aztán minden műszer rendelkezésre állt. Nem kellett, mint Budapesten, az Anatómiai Intézetből kicsempészni a fejeket, és félni, hogy a rendőr a villamoson megkérdezi, mi dudarodik ki aktatáskájából, majd a laborban saját fúrójával és fűrészével kiemelni a fejből a fül szükséges részeit. Bostonban sebészekkel, mérnökökkel, technikusokkal működhetett együtt, elsőrangú műszereket használhatott. Gyorsan futott alatta a szekér, mégis azt mondta, munkája elmélyültebb volt Budapesten. Így vélekedett: „Az Egyesült Államokban a vitákra mindig kutatói értekezleteken kerül sor. Az értekezletek sok-sok órát vesznek igénybe. [...] A magyar stílus ezzel szemben kis laboratóriumokon alapult. Mindenkinek megvolt a maga kis birodalma, és ebben azt csinált, amit akart. Kapott egy darabot a költségvetésből, és senki se kérdezte, mit tesz vele. [...] Annak ellenére, hogy a magyarok általában kényelmesek, és szeretnek jól élni, minden munkatárs rájött, hogy a kutatás nagy élvezet, és lassanként olyan lelkes kutatóvá vált, aki éjszakákat tölt a laboratóriumban anélkül, hogy fizetésemelésben reménykedne.”

A Harvardnál magasabb akadémiai pozíció persze nem létezik. Ez az ugyancsak rendkívül termékeny időszak nem azért maradt abba, mert még többre vágyott, csupán azért, mert lassan eljárt felette az idő. Egyébként is feljegyzései, írásai nagyrészt egy tűzvész áldozataivá váltak. Új labort kellett volna létesítenie, amihez már nem nagyon fűlt a foga Bostonban. 1966-ban inkább elfogadta a Hawaii Telefontársaság által a számára létrehozott laboratóriumot, és elköltözött a paradicsomi szigetre. Magával vitte egyetlen hűséges társát, mindentudó technikusát, az osztrák származású Walter Karplust, aki még arra is hajlandónak mutatkozott, hogy olykor eljássza a kísérleti objektum szerepét. Békésy munkássága lassanként általánosodott: a fülről átterjedt a többi érzékszervre, a bőrre és nyelvre, és irányt vett egy általános érzetpszichológiai-fiziológiai elmélet felé.

Döntésének indoka összefügg legfőbb kedvtelésével: az egész családját jellemző művészetimádattal. Öccse időtöltésből kitűnő szobrokat készített. A művészek iránt ugyancsak fogékony nővérének, Passuth Lászlónénak lánya, Passuth Krisztina jelenleg az ELTE Művészettörténeti Tanszékének professzora. Békésy

maga fiatal korában olyan ragyogóan zenélt, hogy sokak szerint nyitva állt előtte a zeneművészeti pálya. Akárhova vetődött is a világban, a régiségüzleteket, kiállításokat, múzeumokat maximális odaadással nézte meg. Egészen fiatal korában alakult ki ez a szenvedélye, és soha nem szűnt meg. Aztán elkezdett műtárgyakat vásárolni, és lassanként bámulatos gyűjteményre és abszolút professzionális szaktudásra tett szert. Minthogy a művészetet számára kiegészítette az archeológia, a kb. 300 mesebelien szép és értékes műtárgya a katalogizálók szerint felölelte az emberiség egész kultúrtörténetét. Értéke a Nobel-díj többszörösét tette ki. Végrendeletében a Nobel Alapítványra hagyta az egész kollekciót, amelyet múzeumban helyezett el, de a stockholmi Karolinska Intézet Nobel-részlegében két gyönyörű primitív szobor fogadja az embert, aláírva, hogy Békésy adományai.

Hogyan függ össze Honolulu és a művészetmánia? A nagy magányoshoz, a megrögzött agglegény Békésyhez közel állók közül Terrence Rogers, a honolulu-i egyetem volt dékánja magyarázta el nekem az okokat. Békésy művészetimádatán belül is kiemelkedő szerepet játszott a keleti művészet. Hihetetlen mély vonzalmat érzett minden iránt, ami Keletről, főleg Kínából származott. Bizonyára úgy érezte, Hawaii az Egyesült Államoknak az a pontja, ahol legközelebb kerülhet az ősi Kelet, a régi kultúrák egyik ihletőjéhez, a csodálatosan színes természethez. Csakugyan, leveleiben be is számolt a virágokkal, lepkékkel és hasonlókkal kapcsolatos nagyszerű élményeiről.

Mégis: Rogers elmondása szerint, ha nem dolgozott, szinte mindig állásához képest szerény otthonában ült, szigorúan egyedül. Elhelyezkedett kényelmes foteljában, töltött magának egy pohár vörösbort, és órákon keresztül nézett egy-egy szobrocskát, műtárgyat. Számára ez maradt az igazi tevékenység a laboratórium mellett.

Miért? Rogers dékán kínai származású feleségének, aki Honoluluban a legközelebb állt az amúgy mindenben, de kivált tudományos ügyekben feltűnően zárkózott tudóshoz, Békésy elmagyarázta, hogy sajnos a rendkívül intenzív érzéki benyomások, a nagyon élénk színek, a meleg szél, a tenger hangja, a virágok ismeretlen illata, az égbolt olyan erős hatást gyakorolnak rá, hogy nem képes munkáját megfelelően végezni. Úgy érzi, menthetetlenül összezavarják tiszta gondolkodását; ha dolgozni akar, helyesebb, ha a szobában marad.

A történet tragikuma és talán konklúziója tehát az, hogy a nagy nosztalgia hiába vitte el Békésyt minden érdeklődésének ősforrásához. Hiába jutott olyan ingerek közé, ahol tobzódhattak a tudományos munkájának tárgyát képező érzékszervek, hiába élhette át kedvenc műtárgyainak természeti élményanyagát, fejében egyszerűen nem fért össze a tudományosan vagy művészileg feldolgozott észlelet az eredetivel. Fel kellett ismernie, igazából nem a természet, nem maguk a dolgok, ebben az esetben a benyomások forrásai érdeklik, hanem mindennek emberi reflexiója: a tudomány és a művészet.

Végezetül azt mondanám tehát, hogy Békésy életében megdöbbentő harmóniát alkotott a tudományos érdeklődés és a hobbi egy öröklött adottsággal. Azzal, hogy rendkívül kifinomult érzékekkel, hallással, látással, tapintással született. Ez a genetikai adottság csaknem mindent meghatározott életében. Tudományos témáját, amely mintha önmaga pontos fizikai megértését szolgálta volna, és művészeti kifinomultságát, azt, hogy, mint mondani szerette, az összehasonlítás módszerével halálos pontossággal tudta megkülönböztetni a hamisat a valóditól, az értékeset a bővítőt.

Amikor az Amerikai Tudományos Akadémia tagja lett, válaszolnia kellett egy kérdőívre. „Fő érdeklődési köre?” . Válasz: „Művészet.” „Legfontosabb hatások, amelyek tudományterületének kiválasztását eldöntötték?” Válasz: „A vak véletlen.”

Békésy György teremakusztikai kutatásai

Áttekintés

Mint minden nagy tudós, Békésy György is egymással bonyolult kapcsolatban álló emberi tulajdonságokkal rendelkezett. Kísérleti fizikus kutatóként a megfigyelések és meggondolások logikai kapcsolatainak szigorúan következetes összefoglalását tekinthetjük fő tulajdonságának. Ő azonban az érzékszervek kutatója is volt, ezért az emberi érzékelésnek az objektív mérési adatokkal való egyeztetését is fontos céljának tekintette. Végül, mint a művészi és esztétikai szépség érzékeny figyelője, a tudomány és művészet belső emberi kölcsönhatását is az egyéniség szétszakíthatatlan egységének látta. Nobel-díjas előadásában – *Művészet a kutatásban és kutatás a művészetben*, amelyet a 4. Akusztikai Kongresszuson Koppenhágában megismételt – hitet tett erről a hármas egységről mint emberi értékről.

A róla szóló emlékezések elsősorban a hallás és az emberi hallószerv kutatóját méltatják és nem veszik figyelembe, hogy működése során az akusztika egész széles területét művelte: hangterjedés, beszédhang, épület- és teremakusztika, sőt még az ultrahang is érdeklődési körébe tartozott. De hogyan került kapcsolatba a teremakusztikával? Talán véletlenül, talán történelmi és kényszerű fejlődési folyamatok hatására.

A történelmi kényszerhelyzet

Az első világháború súlyos megpróbáltatásai alatt a tudományok művelése is alábbhagyott. *Inter arma silent musae*. Természetes viszont, hogy a béke első évtizedeiben robbanásszerűen törtek elő az addig elnyomott gondolatok, tervek, elhatározások, így például a Chladni óta teljesen elhanyagolt zárt téri akusztikai problémák is. Az indítás már a század elején adott volt W. C. Sabine forradalmi gondolatával és annak kísérleti bizonyításával. Az utózengési idő fogalmának bevezetéséről van szó. Ez nagyon fontos lépésnek ígérkezett újabb tudományos kísérletek megindítása irányában, de kellett hozzá megfelelő szervezeti támogatás is. Az utóbbi 1929-ben szintén megvalósult, éspedig az Acoustical Society of

America megalakulásával. Ebben nem kell imperialista törekvést gyanítani, hiszen már az első két évben a világ minden akkori vezető akusztikusa csatlakozott az új társulathoz, amely *Thomas Alva Edisont* kérte föl tiszteletbeli elnökének, akit az egész tudományos világ az egyik legnagyobb teremtmő elmeként ünnepelt. A nemzetközi együttműködést igazolja, hogy az akkori vezető akusztikusok, így *E. Meyer*, *E. Petzold*, Békésy és *S. Lifshitz* is már 1931-ben tagjai voltak az egyesületnek, amelyet *V. O. Knudsen*, *H. Fletcher*, *P. E. Sabine*, *D. C. Miller*, *E. C. Wente* – részben egyetemi tanárok, részben a Bell Laboratorium és a General Radio vezetői – rövidesen hivatalosan is bejegyeztettek nemzetközi tudományos társulatnak.

A rohamos fejlődés azonban ennyivel nem állt meg. Az új társaság nemzetközi folyóiratokat is indított. Korábban európai és amerikai folyóiratok hatalmas mennyiségű tudományos anyagot közöltek, ezek egy részét azonban vagy nagyon általános érdeklődésű műszaki értelmiségiek részére, vagy nagyon speciális tudományos területen, például orvosi vagy építészeti célkitűzéssel. Az akusztika, mint sok alap kutatási területet átfogó általános tudomány, még nem rendelkezett saját folyóirattal. Ezt a területet kívánta megcélozni az új társulat a híres *Journal of the Acoustical Society of America* közreadásával. A kezdetben lassan fejlődő, de ma évi 4000 oldalon megjelenő folyóirat már száz néhánnyadik köteténél tart, és nemcsak nyomtatásban, hanem elektronikus formában is megjelenik. Első köteteiben sok dolgozatot közöltek benne éppen épületfizikai és teremakusztikai kutatásokról is. *V. O. Knudsen*, *P. E. Sabine*, *E. Petzold*, *E. Meyer*, *S. Lifshitz* dolgozatai már az első néhány kötetben olvashatók, sőt *Lifshitz* már Békésyt is idézi.

Tudósunk ez idő tájt a Posta Kísérleti Állomás mérnökeként (helyesebben fizikusaként) dolgozott. Munkája segítésére a húszas-harmincas években beszerezte, maga szerezte meg vagy egyes szerzők tiszteletpéldányaként kapta meg a legfontosabb utolsó kiadású könyveket, többek közt az épületakusztikával vagy teremakusztikával foglalkozó műveket is. A két nagy klasszikus, *Rayleigh* (német fordítása) és *Helmholtz* mellett a korabeli szakkönyvekből kitűnő könyvtárt állított össze. Ha az eddig felsorolt kényszerű körülmények nem is lehettek közvetlen okai a teremakusztikával való foglalkozásnak, vegyük hozzá a műszaki fejlődés további kényszerét, a rádióadások megindulását, a világszerte bevezetett hírtovábbító rendszer legfontosabb helyre kerülését. A rádióadások Budapesten is megkezdődtek, és ebben a Posta Kísérleti Állomásnak is jelentős szerep jutott. Íme, az új kényszerítő körülmény: jó stúdiókat kellett építeni.

Ilyen körülmények között kellett elkezdenie a Posta Kísérleti Állomás alkalmazottjának, aki a halláskutatás területén már nemzetközi szaktekintély volt, stúdióakusztikával is foglalkozni. A feladatot a fejlődés kényszere fogalmazta meg, hiszen a rádióadások követelményei közt szerepelt a beszéd legkedvezőbb hangminőségének beszabályozása, amely csak részben volt megoldva a telefonhír-

mondó régi helyiségeinek átvételével, sőt rövidesen a zenei átvitelre is alkalmas, beállítható utószengésű, közepes nagyságú stúdiók tervezése és kivitelezése is szükségessé vált. Még az volt a kutató szerencséje, hogy a természetű hangátvitel végső értékelése mégiscsak az emberi hallásérzetre volt bízva, tehát az érzékeléssel a kapcsolatot meg lehetett teremteni. Békésynek kezdetben is az volt a véleménye, és azt rövidesen bizonyítani is kívánta, hogy az utószengési idő helyes beállítása pszichológiai ellenőrző vizsgálatokkal igazolható.

A témával kapcsolatos első dolgozatában [1] ezt a gondolatot alapozta meg.¹ Csak ezután foglalkozott kísérleteinek ismertetése kapcsán a kisebb [3], és nagyobb méretű [4] zenei átvitelt szolgáló stúdiók problémáinak részletezésével.

A rádióadások megindítása megindítása során a húszas években fölvetődött a rádióstúdiók tervezésének és kivitelezésének a kérdése. El kellett jutni a teljesen süket, lefüggönyözött szobáktól a beszéd legkedvezőbb átvitelére alkalmas, közepes utószengésű helyiségek, sőt nemsokára a kis-, közepes-, és nagyméretű zenei célú stúdiók építéséhez is. Békésynek, mint a Posta Kísérleti Állomás dolgozójának, ebben is nagy szerep, sőt feladat jutott.

Immáron nemcsak stúdiókat kellett tervezni és megvalósítani, hanem vizsgálni kellett az egyes zárt terekhez szükséges legmegfelelőbb, tehát emberi esztétikai értékelés számára legjobbnak ítélt hangtetszetősségi adatokat is.

Mindezt szinte mellékesen, hiszen Békésy számára mégis a hallásmechanizmus megismerése volt a fő cél, amelynek eredményeként olyan fontos következtetésekhez jutott, amelyek később a Nobel-díj elnyeréséhez vezettek.

Visszatérve a teremakusztikai kutatásokhoz, elsősorban azt kell megemlítenünk, hogy a témával kapcsolatos első dolgozatában szerzőnk azonnal a lényeg központját, a megfelelő utószengési idő beállítását ragadta meg [1]. Csak ezután fordult tovább a részletek ismertetéséhez [2], a kisebb és nagyobb zárt terek hangtetszetősségének megvalósítása érdekében végzett kísérleti munkáinak részletezéséhez [3, 4]. Egy későbbi, francia nyelvű dolgozatban [5] nemcsak ezeket a kísérleti eredményeket foglalta össze, hanem rátért az elméleti elképzelésének, a jelenléti idő fontosságának és alkalmazhatóságának gyakorlati indoklására is. Ezzel kapcsolatban rá kell mutatnunk szerzőnk tág látókörű irodalmi ismereteire, illetőleg a más helyen, más célra fölhasznált gondolatok új alkalmazására és általánosítására vonatkozó képességére. *William Stern* 1897-ben a *Zs. f. Psychol. d. Sinnesorgane* folyóiratban fejtette ki gondolatát, hogy ahhoz, hogy fizikailag elválasztható gerjesztési folyamatok pszichológiailag ne folyjanak össze, bizonyos elválasztási időtartamra van szükség, amit a pszichológusok jelenléti időnek neveznek. Békésy irodalmi tájékozottságára jellemző, hogy ezt a dolgot átta-

1 Megjegyzésre érdemes, hogy a jelenléti idő fogalma már ekkor is szerepel.

nulmányozta, a fogalommal kapcsolatos fő gondolatot magáévá tette és új formában alkalmazta. A cikket ugyanis [5]-ben idézi, ahol sokat foglalkozik a jelenléti idő fogalmával.

Objektív és szubjektív utózungési idő

Az eddigiekből is világos, hogy Békésy nemcsak irodalmilag volt tájékozott, de jól ismerte a zárt terek utózungési idejének mérési technikáját és a hagyományos 60 dB intenzitáscsökkenéssel mérhető fizikai lecsengési folyamatok alakulását. Azonban, mint az érzékszervek viselkedését jól ismerő tudóst, az észlelés útján meghatározható adatok is érdekelték. Kísérletei korai állapotában már megfigyelte, hogy az elhalási folyamatban a hangosság nem úgy változik, mint a hangnyomás. Erről följegyzéseket is készített. Az egymás után megszólaló hangok vagy akkordok külön-külön szólnak, de az utózungés folyamatában összehangzanak, annál is inkább, mert az elhalási folyamatnak frekvenciafüggése is van. Ismerni kellene azt a legkisebb vagy legmegfelelőbb elválasztó időközt, amely nem teszi teljesen összefolyóvá a két egymás utáni hang érzetét, de nem is engedi meg, hogy a hangokat különálló impulzusként érzékeljük. Ezt a legkedvezőbb elválasztó szünetet tekintette a korábbi fiziológiai megfigyelések értelmében jelenléti időnek. Hatását az 1936-ban megjelent francia nyelvű dolgozatában [5] fejtette ki részletesen. Ekkor már sok ellenőrző mérést végzett kisebb és nagyobb rádióstúdiókban. Az ellenőrző objektív és szubjektív méréseket a Magyar Rádió nagyrészt maga által tervezett, zenei rendeltetésű stúdióiban végezte a legkisebbtől (183 m³) a legnagyobbig (a híres nagy, hatos számú stúdió, 2000 m³). A szubjektív utózungési idővel jellemezhető kísérleti adatok jó része éppen ebben az utóbbi teremben végzett vizsgálatok során adódott. A kísérletek véghezvitelének ismertetésére később térünk rá.

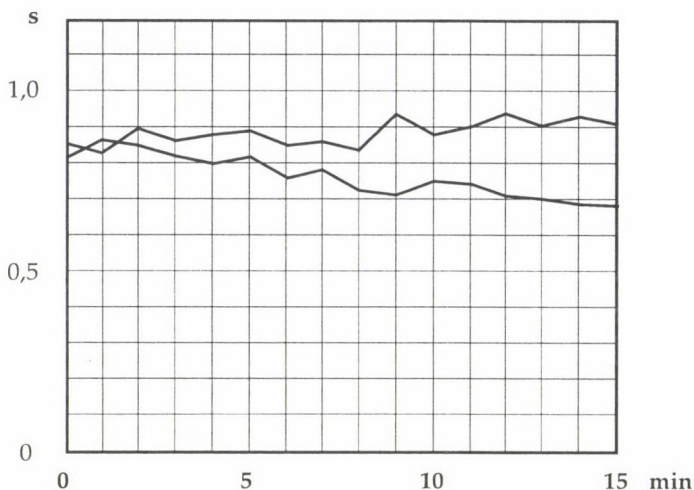
A harmincas évek elején Békésy érdeklődéssel fordult a rádióadások során fölmerült megoldandó feladatok irányába. Mint a Posta Kísérleti Állomás mérnöke (valójában fizikusa) Békésy jól ismerte a zárt terek akusztikai tulajdonságaira jellemző utózungési idő fizikai definícióját, időfüggő folyamatát és méréstechnikáját. De megjegyezte, hogy az elhangzott hang elhalási folyamatában a hangnyomás nem úgy változik, mint az érzékelhető hangosság. Erről már a húszas években feljegyzést is készített. Munkahipotézisében az érzékszervi ítélet dönti el a helyes akusztikai állapotot, ezért hallással ellenőrzött értékelési kísérletekkel igazolható vizsgálatokba fogott a Magyar Rádió akkor Sándor (ma Bródy Sándor) utcai stúdióhelyiségeiben, amelyek közül néhánynak alaposan megvizsgálta teremakusztikai adatait. Ezeknek a vizsgálatoknak az érdekessége, hogy a fizikai mérések mellett a hangzás jóságát, kellemességét szintén minden esetben megítélte egy zeneértőkből és zenészekből álló értékelő zsűri, sőt az előadó művészek

maguk is meghallgatták produkcióikat, és részt vettek az értékelésben. A szubjektív ítéletek lehetőség szerinti mennyiségi megállapítására azért volt szükség, mert a zenei értékelésben nincs olyan számszerűen megfogható adat, mint a beszédcélú termék jóságának értékelésében az érthetőség százaléka. Békésy világosan látta, és bizonyítani is akarta, hogy zenei rendeltetésű termekben is található értékelési lehetőség. Ennek alapelveit a jelenléti idő fogalmának bevezetésével vélte megoldani [3–5].

Az érzékszervi megítélés alapelve

A zeneterem hangzásának ideális állapota a következő elképzelés alapján határozható meg. Az elhangzó hangesemény egyes elkülöníthető elemei, például az egymás után következő hangok vagy hangzatok, lehetőleg ne folyjanak össze, de ne is szakadjanak el egymástól. Így válhat esztétikailag szellemi tulajdonunkká a zenei esemény. Az elképzelt elválasztó hatás nem fizikai időtartam, hiszen a külső körülmények miatt állandó változásnak van alávetve, hanem mindig akkora szubjektív időköz, amely a hallgató megítélése szerint a túlzott összeolvadás és a logikai szétszakadás közötti határértéket képviseli. Világos, hogy a változó változó föltételek más és más eredményre vezetnek, sőt még előadás közben is változhatnak. Azonban a pszichológusok már a múlt század végén nevet adtak ennek a változó, de mindig elhatároló időszaknak, és jelenléti időnek (*Präsenzzeit*) nevezték.

Mielőtt a szubjektív utőzengési megítélés kísérleti eredményeit részletesen ismertetnénk, meg kell emlékeznünk a már többször emlegetett és az érzékszervi hangzás érdekében fontos szerepet betöltő különleges időtartamról, a jelenléti időről. Békésy az előbbieket szerint átvette az eredeti, pszichológiai rendeltetésű fogalom megnevezésére a *Präsenzzeit* kifejezést, amire maga a francia nyelvű dolgozatában [5] a *temps de présence* vagy *durée de présence* kifejezést használta. Angol fordítása csak 1960-ban, a híres Békésy-könyv kiadásakor rögzítődött *conscious present* formában [7]. A zenei hangzás zárt térben tapasztalható érzékelésének folyamata akkor a legkedvezőbb, ha az egyes hangjelek (hangimpulzusok) hallásunk alapján sem nem folynak össze, sem nem szakadnak el egymástól. A hangeseményeket elválasztó ideális határérték nem fizikai időtartam, hiszen a hangok folyamatában (előadás közben) időszakosan változik. A határérték a hallgató belső ítéletében alakul ki. Békésy egyszerű szubjektív kísérletet javasolt ennek a határértéknek a megismerésére. A próba rendszerint jól sikerül, és az eredmény 650 ... 850 ms elválasztó időköz (1. ábra). A meghatározott időérték elég állandó. A szerző az egyenletes ritmust az emberi szívveréssel hozza összefüggésbe, bár nem okvetlenül függ össze ennek egyéni alakulásával. Az egyenletes kopogtatás mellett Békésy más érveket is felhoz a jelenléti idő meghatározására.

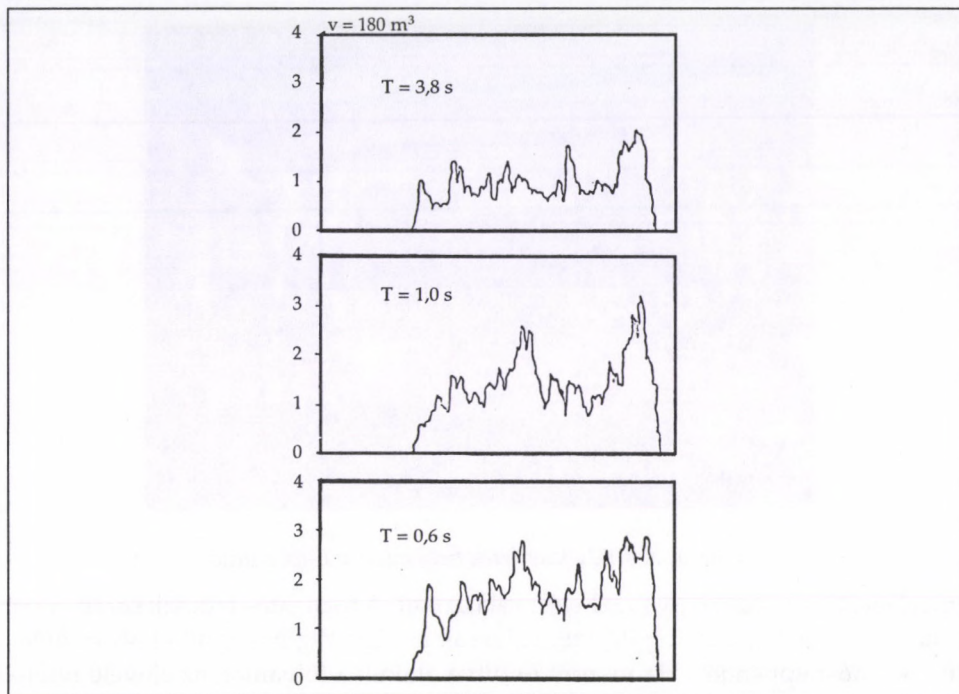


1. ábra. Az egyenletes kopogtatással meghatározott jelenléti idő értékei két személy hosszabb idejű ellenőrzése szerint

ra, például megemlíti a normális beszédtempó mellett a szótagok közti elválasztó határértékét, amely a szótagszámtól függően változik: több szótagú szavak esetén csökken, vagyis: gyorsabban játszott zenedarab esetén is csökkennie kell. A teremakusztikai kísérletek során később kiderült az is, hogy hosszabb utózengetési idejű térben a lassú zenei tempó szolgáltatja a kétirányú összehangoltságot, „szárazan” hangzó térben gyorsabb tempó – rövidebb jelenléti idő határozza meg a kívánt megegyezést.

A jelenléti idő

A kérdéses időtartam meghatározására a szerző egyszerű kísérletből indult ki. Kopogtassunk egyenletes tempóban úgy, hogy a sorozatot se túl gyorsnak, se túl lassúnak ne érezzük. Érdekes eredmény, hogy az egyéni megoldások nem túlzottan térnek el egymástól, az egyszer megválasztott ritmus hosszabb idő alatt (kifáradás!) sem nagyon változik. Békésy [5]-ben közölt diagramja igazolja (1. ábra), hogy az egyéni adatok valóban 650 ... 850 ms közé esnek. Ellenőrzését bárki bármikor megkísérélheti. Békésy más érvet is talált az elválasztó időköz és a szótagszám közötti összefüggésben. Valószínű, hogy az így meghatározott időérték azonos azzal, amit az előzőekben a zenei elemek elválasztó határidejére elvártunk. Erre vonatkozólag közlünk egy diagramot (2. ábra). Az ábrán zongora és szalonzenekar játéka hangnyomásának időbeli változása látható. A hangfelvétel

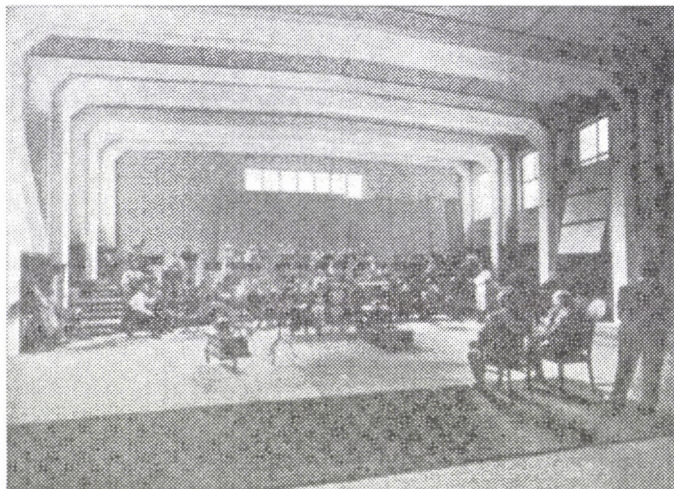


2. ábra. Zongora és szalonzenekari játék hangnyomásának változása

a legkisebb zenei stúdióban készült különböző utóhangési idejű állapotban. Ha más nem is következtethető a korabeli gyöngye felvételekből, annyi mindenesetre megállapítható, hogy nagyobb utóhangési idők mellett hosszabbak a hangelválasztó szünetek, vagyis hosszabb utóhangési időhöz lassúbb előadási tempó tartozik, ha a játékos visszahallja saját előadását.

Kísérletek a zenei stúdiókban

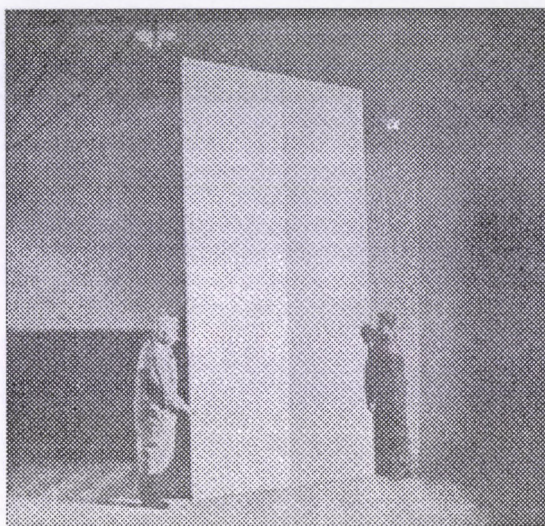
A hónapokig tartó vizsgálatok során a legfontosabb kísérletek arra irányultak, hogy a terem fizikai módszerekkel meghatározott adatai és az észlelt esztétikai-pszichológiai megítélés között melyek a határozott összefüggések, lehet-e egyik adatsorból a másikra következtetni. A munka legnagyobb része az azóta is híressé vált, 2000 m³ légterű 6-os stúdióban folyt le (3. ábra). A vizsgálati eljárás végtelen egyszerű volt. Először a nyers falfelületű teremben hosszú utóhangési idő uralkodott, az érzékelés is túl zengő ítélettel végződött. Ezután Békésy fokozatosan behordotta a későbbi határfalak csillapítását szolgáló elnyelő felületeket (4. és 5. ábra), és minden újabb állapot mellett megismételtette a zenei műsort, a fizikai



3. ábra. A stúdiókísérletek helyszíne, a 6-os stúdió

méréseket és a szubjektív érzékelési válaszokat. A fokozatos lépések során „még mindig zengő”, „összefolyik” stb. válaszok mellett alig hangzott el olyan ítélet, hogy „most éppen jó”. Ha viszont fordítva alakult a folyamat, az elnyelő felületek fokozatos kihordásával az eredetileg tompa, üres, süket hanghatás után szintén csaknem el lehetett érni ezt a közel ideális hangzás ítéletét. A két egymást átfelelő ítéletsorból átlagolással vagy különböző középérték-számító eljárással lehetett a helyesnek elismerhető állapotot rekonstruálni. Megjegyzendő, hogy az utózenge frekvenciafüggését is állandóan vizsgálták, hiszen közzismert és a kísérletek során is igazolódott, hogy a szálas szerkezetű anyagok (esetünkben vatta) magas hangelnyelők, a hajlítási rezgéssel elnyelő lemezek pedig a mély hangok energiáját nyelik el. A kombinációk és a számítások végül is eredményesnek bizonyultak. Be lehetett állítani a stúdió ideálisnak érzékelt fizikai adatait. *W. Kuhl* egy sokkal később lebonyolított, más módszerű vizsgálati sorozatában [8] hasonló eredményre jutott.

Az elnyelő anyagok megfelelő összeállításával a 6-os stúdió az akkori ízlés szerinti 0,6 ... 0,8 s közepes utózengei idővel (6. ábra), enyhe mélyemeléssel rendelkezett. Később a hangzási ízlés nagyobb értékeket kívánt, és az utózenge frekvenciafüggése is másképpen alakult. A terem belső határfelületeinek méretei ma is azonosak, csak a felületek befejezési formája más. A ma kívánatos diffúz hanghatás elérésére a régi klasszikus sík befejezés helyett optikailag kevésbé megnyugtató, akusztikailag szóró hanghatást szolgáltató felületek határolják a teret (7. ábra), nem éppen a mai állapot javára.



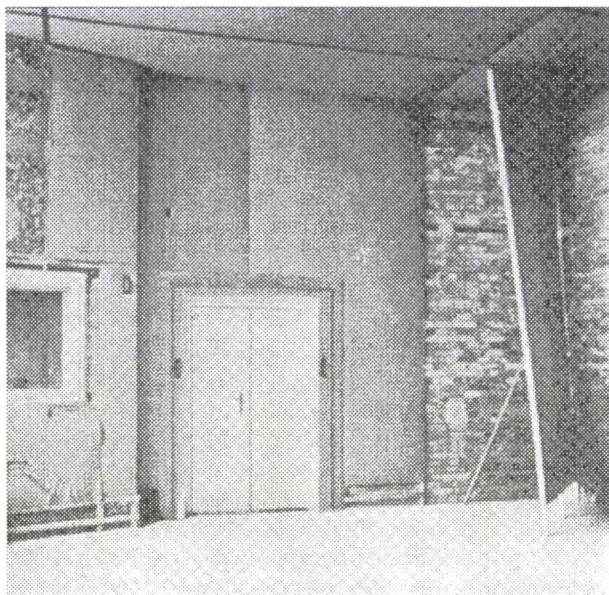
4. ábra. Hangelnyelő lemezek be- és kihordása a stúdióba

Fontosabb következtetések

A kísérletek közben néhány olyan megfigyelt jelenség említésre kívánczik, amely részben a megítélések szempontjából fontos, részben a stúdiótechnika előrehaladása szempontjából útmutató volt. A megfigyelések néhány érdekes elemét röviden össze kívánjuk foglalni.

1. Közülük kiemelhető a félig elnyelő felületekkel párhuzamosan terjedő hanghullámok nyomás- vagy intenzitáscsökkenése, amely a távolsággal növekszik. Ez a Békésy-effektus. A jelenség hasonló a félvezetők mentén terjedő elektromágneses hullámok elnyeléséhez. Erről a hatásról Békésy külön dolgozatot is megjelentetett [2], amelyben kifejtette, hogy a „közönségfelület” mentén terjedő hangnyomás az első sorok után rohamosan csökkenő hangnyomással folytatja útját, és ez az elnyelés a távolsággal fokozódik. A hatást lényegében az ókorban is ismerték (Vitruvius homályosan utalt rá akkor, amikor azt a megoldást javasolta, hogy a közönséget a görög színházban hegyoldalban, folyamatosan emelkedő üléseken helyezték el). Ezt a kísérletet különben nem a zárt stúdiókban, hanem a nyitott udvaron folytatták le.

2. A zárt térben egy másik hatásra lehetett tapasztalatot szerezni. Az utózengetési idő növelésével a hangforrások irányíthatása elsimul: egy irányhatással rendelkező hangszóró hosszú utózengetési idejű térben nem irányítható (8. ábra), minden irányban sugároz.



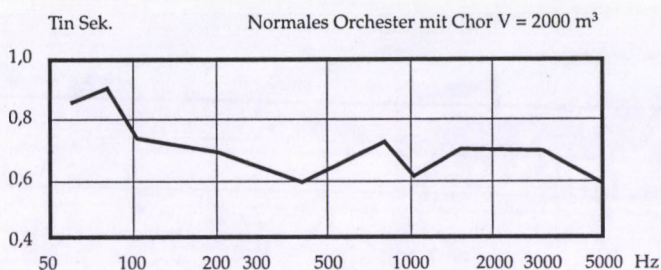
5. ábra Félkész falfelületek takarása

A kísérletek során tehát bebizonyosodott, hogy az utózungési idő növelésével gyakorlatilag elvesztik azok irányítását. Ebből azonban az következik, hogy a jelenléti idő meghatározása is kétséssé válik hosszabb utózungés alatt.

3. Nem teljesen új az a megfigyelés, hogy a hosszabb utózungés lassabban változó és lassúbb tempójú zenedarabok hallgatásának kedvez, például kórusoknak, viszont a rövidebb utózungés a gyorsabb zenei tempót részesíti előnyben. Biztos azonban szerinte, hogy a terem zengése és a zenei stílusok vagy korszakok nincsenek kapcsolatban egymással. Ezzel a megfigyeléssel egyes későbbi próbálkozások [8] előzetes cáfolata fogalmazódott meg.² Békésy például 1934-ben kimutatta, hogy a *Figaró házassága* és a *Tannhäuser* nyitánya – bár nagyon különböző zenei irányzat képviselői – azonos utózungésű térben hangzik a legjobban.

4. Minden esetben megfigyelhető volt, hogy a játékokat visszahallgató előadók alkalmazkodtak a fizikailag mérhető utózungési adatok és a jelenléti idő összeegyeztetéséhez. Ez gyakorlatilag azt jelentette, hogy hosszabb utózungési idő mellett lassabban, rövidebb utózungési esetben gyorsabban folytatták előadásukat.

2 L. W. Kuhl dolgozatát a stílusok függéséről. Szerinte (*Acustica*, 1954, 4, 611–634.) klasszikus és modern darabokra $T = 1,5$ s, romantikusokra $T = 2,01$ s a legkedvezőbb utózungés.



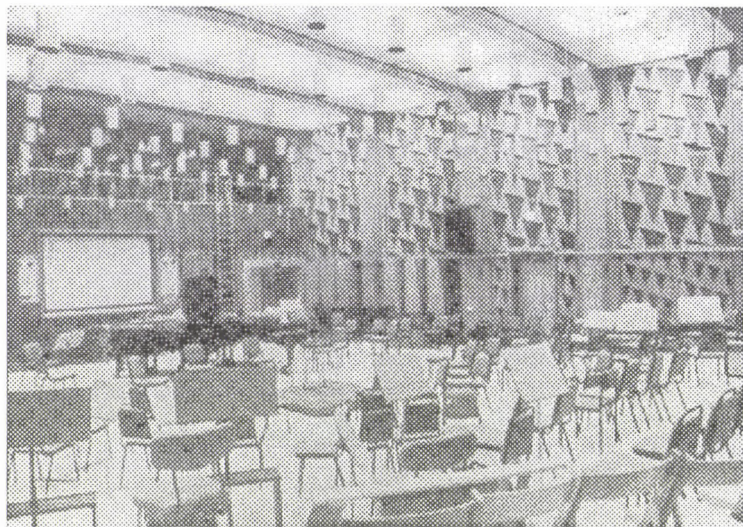
6. ábra. A 6-os stúdió végleges utóhangési ideje nagyzenekari mű és kórus előadásakor 1936-ban

Ehhez az alkalmazkodáshoz bizonyos beállítási idő volt szükséges. Például zongoristák jól ismert vagy sokszor játszott művek esetén elég rövid idő alatt elérték az ideális végértéket. Ismeretlen darabok lejátszásakor azonban ez a folyamat sokkal tovább tartott. Békésy érdekes megfigyelése volt, hogy a híres magyar zongoraművész és zeneszerző, *Dohnányi Ernő* még *prima vista* kotta esetén is azonnal beállt a szükséges tempóvételre. Ez másoknak általában nem sikerült. Dohnányinak ezt a csodálatos képességét [4] dolgozatában nem írja le, de többeknek említette, sőt az 1943/1944. tanév első félévében ezt a megfigyelését egyetemi óráin elő is adta.

5. A helyes utóhangési folyamat beállításához a frekvenciafüggés is fontos volt. A megfelelő arányt a magas- és mélynyelők helyes arányú alkalmazásával lehetett elérni. Az elnyelő felületeket azonban a stúdióban nem kellett láthatóvá tenni, ezért a falakra erősített elnyelőket sík lemezekkel el lehetett takarni. A lemezek elnyelési feladatuk mellett a helyiség végső kiképzésének nyugodt felületi formát adtak. Ezt az elvet követték még harminc év múlva is a londoni BBC zenei stúdióban.

A kétféle jellegű elnyelő anyag megfelelő kombinálásával érhető el az utóhangési idő kívánatos frekvenciafüggése. A lemezekre jellemző mély hangú elnyelést a fóliák is teljesítik. Ezért Békésy olyan paplanokat tervezett, amelyek fóliába becsomagolva tartalmazták a magasnyelő vattát. Ezeket a Békésy-féle elnyelő egységnek vagy Békésy-csomagnak nevezhető készítményeket a későbbi stúdióépítések során bőven használták. Jelen anyag összeállítója könyvében [10] is említi ezt a gyakorlati fontosságú találmányt.

A terem határfelületeit elnyelő egységekkel kellőképpen borítva s ezeket a nyers falfelületen részben rögzítve láthatjuk a 7. ábrán. A terem végleges befejezése a belső határfelületek lemezborításával készült el. Természetesen a lemezek is beszámítanak az elnyelési eszköztárba, csak, mint említettük, a végleges belső



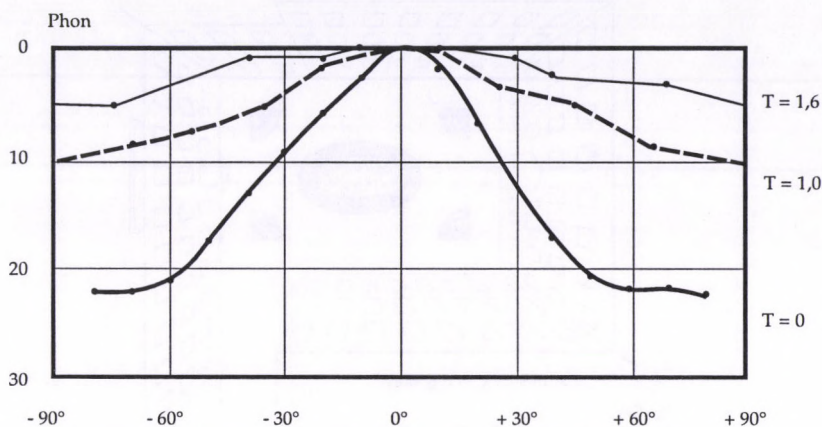
7. ábra. A mai 6-os stúdió

felület optikai takarását célozzák. Később készített, de hasonló elvek alapján beszabályozott zenei stúdióknál – így az említett BBC kivitelezésében is – belső borító felületnek lyukasztott fémháló borítást alkalmaztak, ami az 1962-ben végzett tanulmányút során összehasonlítható volt a Békésy-féle megoldás 1936-ban befejezett állapotával.

6. A stúdióvizsgálatokon kívül még egy különleges kísérletet folytatott le.

A négy oldalról épületekkel határolt udvar fedetlen (mennyezet nélküli), zárt helyiségként is felfogható. Számításai szerint egy $V = 16 \times 27 \times 15 = 6500 \text{ m}^3$ térfogatú (a 15 m valószínűleg a magasság) udvarról van szó (9. ábra), amelynek nagyzenekari előadás közben $T = 1,5 \text{ s}$ közepes utózengési ideje volt. Valószínűleg ez az első ilyen adat, hiszen azóta, jóval később, többen is foglalkoztak hasonló udvarok utózengésének megállapításával és bennük zenekari előadások lebonyolításával. Hasonló méretű ismert terek a salzburgi Rezidenzhof (körülbelül $350 \text{ m}^2 \times 15 \text{ m}$), a grazi Landhaushof (körülbelül $650 \text{ m}^2 \times 12 \text{ m}$) és vagy 200 európai és más helyen található „zenélő udvar”, de az említettek hátránya, hogy az árkádos és nyitott erkélyes visszaverő falak általában a frekvenciával rohamosan csökkenő utózengési idővel rendelkeznek: mély hangon zengenek, a magasak azonban teljesen hiányoznak. A hangszórás pótlás pedig akusztikailag ízléstelen. Békésy udvarában a zenekari hang zengése valóságos utózengés, habár – különböző átépítések miatt – azóta ez el is lett rontva.

A stúdiókísérletek során Békésynek egy további, eddig ismeretlen tulajdonsága derült ki. Ő, aki elég gyöngye fizikumú, jellegzetes tudósalkat volt, reggeltől

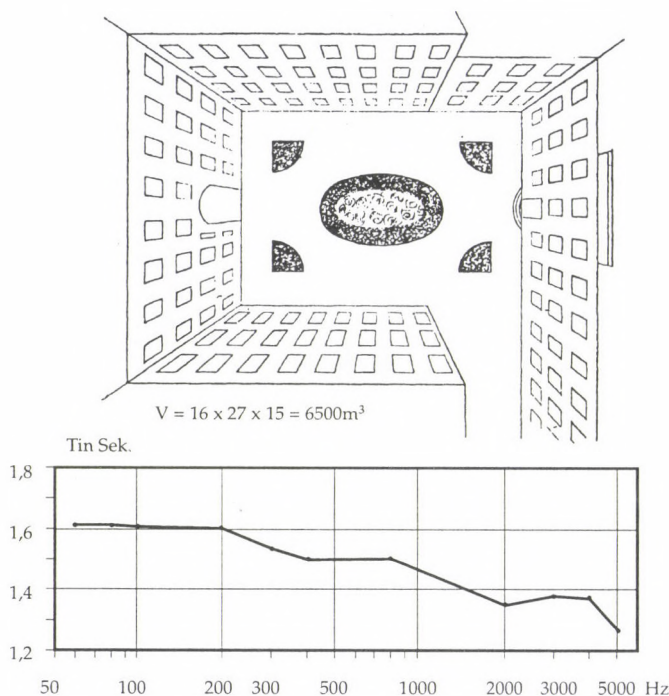


8. ábra. Az irányítás változása az utózenngési idő függvényében

estig részt vett a vizsgálatokban, a mérésekben és értékelésekben. Végighallgatta a zenei műsorokat, irányította a hangelnyelő kulisszák be- és kihordását, közben tudományos értékeléseket fogalmazott és – német gyorsírással – rögzített. Szervezőkészségét és akaraterjét ekkor ismerhették meg az aktív résztvevők. Közben még újabb ötletek kidolgozására is sor került. Bizonyítást nyert a Békésy-effektus [2] minden részlete, melléktermékként kialakult a komplex összetételű Békésy-féle elnyelőcsomagok frekvenciafüggő viselkedése. Sőt, az udvaron tartott hangversenyek alapozták meg a később divatossá vált szabadtéri játékok, ünnepségek, más előadások szokását.

A teremakusztikai kísérletek során több mellékes eredmény is adódott. Mint a kísérletek ismertetése során már említettük, a kutató ekkor figyelte meg (ez a kísérlet szabadon folyt), hogy az elnyelő felülettel párhuzamosan terjedő hang energiája a távolsággal fokozatosan csökken (Békésy-effektus), akárcsak ahogy az elektromágneses hullámok a félvezetők mentén terjedve veszítenek energiájukból. Az eredeti akusztikai megállapítás az általában sík felületet alkotó közönségre is érvényes, ezért kell célszerűen emelkedő síkban elhelyezni a hallgatóságot [2]. Egyébként mind a Békésy-féle elnyelő paplanok alkalmazásáról, mind pedig a sík elnyelő felület energiacsökkentő hatásáról (Békésy-féle effektus) a későbbi magyar akusztikai irodalom nem feledkezett meg, és még évtizedekkel későbbi könyveink [9, 10] is hivatkoznak rá. Az 1936-ban lefolytatott egész kísérletsorozat lezárásáról szóló végleges jelentés [6] annak idején 1940/41-re maradt.

A jelenléti idővel kapcsolatos stúdióakusztikai vizsgálatok befejezése után még egy különleges eredmény dicséri Békésy fantáziáját. Arra gondolt, hogy a



9. ábra. A stúdiókat körülvevő udvar fölülnézetben és a hozzátartozó utózengési idő

stúdióépületek négy oldalról beépített udvarában, mint minden más hasonló körülzárt térben, szintén tartható hangverseny (9. ábra). Valóban, a nyitott tetejűnek tekinthető térben jól hangzottak az előadások. A 6500 m^3 -re becsült udvartert közepes fizikai utózengési ideje $1,5\text{ s}$ -nak volt mérhető, és nagyzenekari hangverseny-előadásokra jól használható. Másrészt arra is gondolt – ami fontosabb –, hogy a zárt téri mennyezet nem nagyon szól bele a végső akusztikai körülmények alakulásába, helyesebben nem annyira az utózengésre, mint inkább a hangforrás irányára ad felvilágosítást. Később sokan alkalmazták ezt a gondolatot a valóban gyakran használt, fölül nyitott téri hangversenyek hatásának tanulmányozására és gyakorlati alkalmazására, például Salzburgban, Bécsben vagy Szegeden.³

3 Néhány példa: Salzburg, Residenzhof $24 \times 42\text{ m}$, üresen $T = 3\text{ s}$, közönséggel $T = 1,6\text{ s}$; Wien, Arkadenhof im Rathaus $81 \times 34\text{ m}$, üresen $T = 3,3\text{ s}$, közönséggel $T = 2,6\text{ s}$. Forrás: F. Bruckmayer: *Schalltechnik im Hochbau Deuticke*. Wien, 1962.

Irodalom

1. Bemerkungen zur Theorie der günstigsten Nachhalldauer von Räumen. *Ann. Phys.*, (5) 8/7, 1931, 851–872.
2. Über die Ausbreitung der Schallwellen in anisotropen dünnen Platten *Zs. Phys* (79) (1932) 668–671.
3. Über die Hörsamkeit von Konzert- und Rundfunksälen. *Elktr. Nachr. Techn.*, 1934, 11, 369–375.
4. Über die Hörsamkeit von Konzert- und Rundfunksälen. *Elktr. Nachr. Techn.*, 11, 1934, 145–182.
5. Sur la réverbération optimum des petites salles. *Revue d'Acoustique*, 5/5–6, (1936) 145–182.
6. Über die Sicherheit und Reproduzierbarkeit künstlerischer Urteile beim Rundfunk. Arbeitstagung der deutschen Fachberaite für Sing- und Sprechkultur in Wien, April 1940. Eredetije: *Akust. Zs.*, 6, (1941) 265–278.
7. *Experiments in Hearing*. McGraw-Hill Co., 1960, esp. 172.
8. W. Kuhl: Über Versuche zur Ermittlung der günstigsten Nachhallzeit grosser Musikstudios. *Acustica*, 4, (1954) 618–634.
9. Tarnóczy T.: *Akusztikai tervezés* (Planning of Acoustics, in Hungarian). Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1966, 141. p.
10. Tarnóczy T.: *Teremakusztika I–II*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1986.

Békésy György szerepe a modern hallásjavító műtétek kialakításában

A fül működése már évszázadok óta foglalkoztatja az anatómusokat. Antonius Scarpa olasz anatómus kézi nagyítóval tanulmányozta a közép- és belső fület, és felfedezte a hártás labirinthot. Majd 1851-ben Corti leírta a róla elnevezett Corti-szervet és a szőrsejteket. A belső fül részletes anatómiáját 1881-ben Retzius svéd kutató ismertette Stockholmban megjelent munkájában. 1863-ban Helmholtz összegezte a hallásról szerzett addigi tudásunkat, és a rezonancia elmélete ismertetésével matematikai, fizikai és anatómiai alapokra igyekezett építeni teóriáját.

A telefon, az elektroncső és a rádiócső felfedezése újból felvetette a közép- és a belső fül működésének a kérdéseit. A régi problémák felderítésére új utakat keresett Békésy György, aki a Posta Kísérleti Intézet munkatársa, később a Pázmány Péter Tudományegyetem fizikaprofesszora volt, s aki megalapította a fiziológiai akusztika modern formáját, és elősegítette rohamos fejlődését.

Stevens, a Harvard Egyetem Akusztikai Laboratóriumának a vezetője, már az 1930-as években tudományos kapcsolatba került Békésyvel, és közös munkájuk Békésynek Stockholmból Amerikába áttelepülésével tovább folytatódott.

A cochlearis mikrofonpotenciált és az akciós potenciált Galambos, Stevens és Davis ismertette. Az endocochlearis DC potenciált azonban Békésy írta le először 1952-ben.

A klinikai audiológia és a műtéti hallásjavítás azonban a második világháború után fejlődött igazán, az anatómiai és a fiziológiai alapok lerakása után Békésy a róla elnevezett hullámmelélet mellett a középfül, a hallócsontok, a dobhártya, valamint a labirinthablakok működésével is részletesen foglalkozott. Munkássága alapján az úgynevezett vezetéssel halláscsökkenések esetében sokat javult a hallásjavító műtétek lehetősége.

Békésy a dobhártya részeinek mozgását úgy vizsgálta, hogy a dobhártya felszínére vékony fémszalakat helyezett, melyet mint egy kapacitív szondát, más néven kondenzátort működtetett. A dobhártyával együtt mozgó kondenzátorlemez modellálta az áram periódusát. A dobhártya azonos amplitúdóval mozgó részei olyan alakot adnak, mint a térképek színvonalai, vagy más néven izovibrá-

ciós görbék. A legnagyobb kitérés közel esik az alsó részhez, és kb. 2400 Hz-ig a dobhártya és a vele összenőtt kalapács mint egy merev test együtt rezeg.

Magasabb frekvenciában egyes szegmentumok külön is rezegnek. A dobhártya rezgését és csillapítását erősen befolyásolja a mögötte lévő levegő, a hallócsontok és a dobüregi izmok.

A dobhártya alakja hangátvitel szempontjából rendkívül ideális. Kúp alakú formáját a beléágyazott kalapácsnyél biztosítja. Legszabadabb mozgása a felsőhátsó szél mentén képzett tengely körüli rotáció. A tengellyel szemben az alsóbb rész sokkal lazább, így szabadon mozoghat (1. ábra). Békésy mérései szerint rugalmasságát a mögötte lévő levegőpárnának köszönheti. Egyúttal a dobhártya a kerek ablakot is védi a hirtelen légnyomással és a túl erős mély hangokkal szemben. A dobhártya rendkívül engedékeny, könnyen rezeg a levegővel. Tehát a nagy felszínű dobhártya képes a levegőrezgések felfogására, és a hallócsontláncolaton keresztül viszonylag kis felszínen át a folyadékkal töltött belső fülnek átadja ezt a rezgést. A középfül hangvezető rendszere 26,7-szeres erősítést tesz lehetővé.

A dobhártyának a kitérése a küszöb körüli hangok esetében Angström-nagyságrendre esik. Ugyanakkor a dobhártya a külső légnyomás nagyfokú változásai esetén operációs mikroszkóppal is megfigyelhető mozgásokat bonyolít le.

A hangvezető rendszer csodálatos tulajdonságát Békésy nemcsak hullákon (cadaveren), hanem tengerimalacokon, különböző emlősökön, sőt még elefántfülön is tanulmányozta. Vizsgálatait rendkívül szellemes berendezéssel, elektromos és sztriboszkópos megfigyeléssel egészítette ki.

Megfigyelte a kalapács, az incus és az incudomalleolaris ízület mozgását és ezeknek az erősítő szerepét. Kísérleteiben a dobhártyára erősített igen kis tükörrel mérte a dobhártya mozgását különböző erősségű hangok hatására. Sztriboszkóposan is analizálta ezt a mozgást. Friss cadaveren és állatokban is elvégezte a kísérleteket. Megfigyelései a dobhártya, a hallócsontláncolat mozgására, valamint a stapes mozgására is vonatkoztak. Békésy bebizonyította, hogy a kengyel nem egyszerűen csak benyomódik a belső fülbe hang hatására, hanem mindkét tengelye körül mozoghat, és ez elsősorban a hangerőtől függ. Gyenge hang esetében a függőleges tengely, erősebb hang esetén a hosszanti tengely körül mozog, és ez esetben csak a tengely körüli folyadékrész mozog, így kevésbé terjed a rezgés a csiga belsejébe. Tehát a kengyel nem dugattyú, hanem ablakszárnszerű mozgást végez, a hátsó-alsó részén átmenő függőleges tengely körül. Az üllő szára úgy illeszkedik ide, hogy az ajtószárnszerű mozgást a leghatásosabbá tegye. Túl erős hangok esetén megbomlik a hallócsontláncolat egyensúlya, és ez olyan kengyelmozgást eredményez, amely egy vízszintes, a kengyel talpának hosszanti átmérőjével párhuzamos, elülső-hátsó tengely körül történik. Békésy szerint ez a mechanizmus sokkal hatásosabban védi a fület a túl erős hangokkal szemben, mint a középfül izmai.

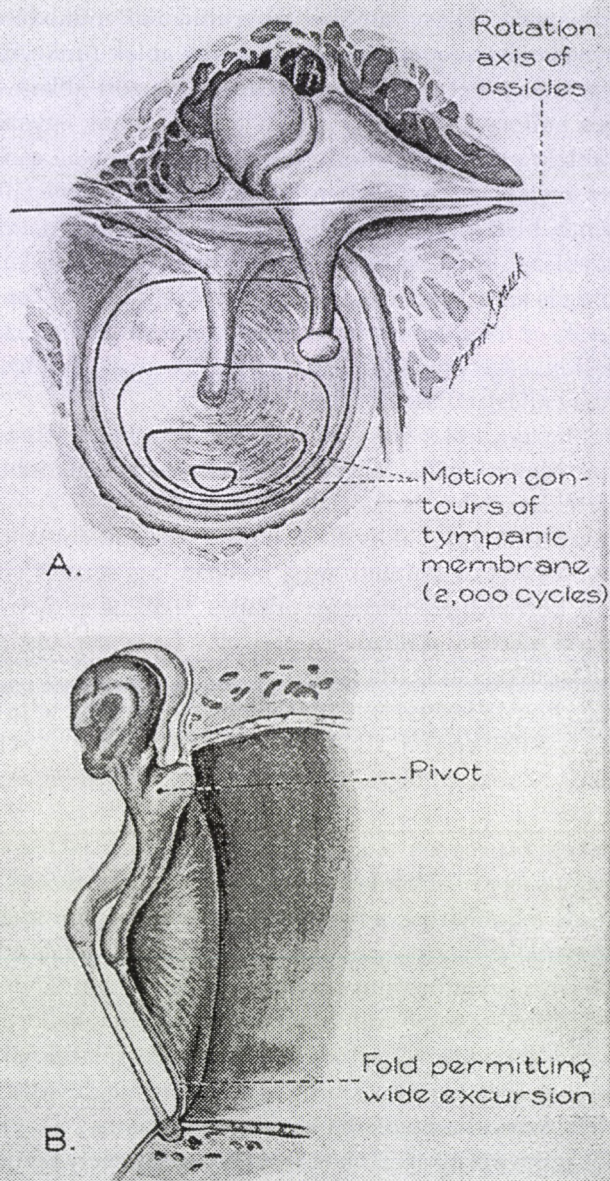


FIG. 1. A, Movements of the tympanic membrane for 2000 cycle tone. (Békésy.) B, Axis of rotation of tympanic membrane and ossicles.

1. ábra. Békésy eredeti ábrái. A hallócsontok és a dobhártya mozgása

Mindezeket a vizsgálatokat a középfül betegségei esetében a sebészek nagy haszonnal alkalmazták. Békésy mindkét labirinthablak működését vizsgálta, és a dobhártya árnyékoló szerepét, valamint a kerek ablak funkcióját szintén tisztázta. A hangnyomás a két ablak között eltérő, és ezért abban az esetben, ha hiányzik a teljes hallócsontláncolat és dobhártya, a hang egyszerre esik a két ablakra, a két ablakra eső hang interferenciajelenség alapján csökkenti egymás hatását, és így a hallás nagymértékben lecsökken. Békésy megállapította, hogy bár a két labirinthablak a hallójárat bemenetétől különböző távolságra van, de olyan kicsi a távolság, hogy ha nincs dobhártya és hallócsontláncolat, akkor a nyomáskülönbség is kicsi, ezért a fáziskülönbség minimális. A kerek ablak 3 mm-rel hátrább fekszik, ez főleg a mély hangok hallása tekintetében számít. Ha azonban ezt a fáziskülönbséget egy műdobhártya segítségével újból helyreállítjuk, akkor nagymértékű hallásjavulás következik be.

Békésy a dobhártya különböző hiányainak a halláscsökkenésre gyakorolt hatását is kutatta. Megvizsgálta, hogy a különböző nagyságú dobhártya-perforációk milyen mértékben befolyásolják a hallásvesztést.

Vizsgálta, hogy a középfül akusztikai transzformátorként való működéséből származó előnyök hogyan szűnnek meg mechanikus sérülés vagy különböző betegség miatt. A középfül-eredetű nagyothallás 30 dB-nél is több lehet, attól függően, hogy milyen mértékű destrukciót okozott a betegség vagy a műtét, 30–50, sőt 60 dB-es halláscsökkenés is lehetséges.

Sok függ attól, hogy a kengyel mozgása, illetve a kengyel-talp, az ovális ablak mozgása milyen mértékben változik. Békésy foglalkozott az otosclerosis csontfixációval, amikor is például teljes fixáció esetén 60 dB-es légvezetési romlást idéz elő.

Holmgrennel együtt végzett vizsgálatai Stockholmban azt bizonyították, hogy a fenestratio, vagyis egy új ablak készítése otosclerosis esetében nagymértékben javítja a hallást, de a dobhártya, a hallócsontrendszer erősítő szerepe kiesik, így tehát egy 60 dB-es hallásvesztés esetén 30 dB hallásjavulás érhető el.

Tehát a dobhártya, a hallócsontrendszer és a középfül működésének tisztázásában Békésynek döntő szerepe volt. Majd a második világháború után az operációs mikroszkóp elterjedésével mindezeknek a vizsgálatoknak a jelentősége tovább nőtt. Békésy 1946-ban Stockholmba távozott meghívásra, és ott végezte tovább kísérleteit. Szoros kapcsolatba került Holmgrennel, aki elérte a fülészeten az operációs mikroszkóp széles körű alkalmazását, mely később a többi szakmában is elterjedt. Stockholm után Amerikába való áttelepülésük a Harvard Egyetemen szoros kapcsolatba került nemcsak Stevensszel, hanem Shambough-val, majd Samuel Rosennel és Lemperttel is. Lempert az otosclerosis műtéti javítása terén a fenestratio korszerű műtétjét vezette be, mellyel igen jó eredményeket ért el, és világszerte bevezették módszerét.

Békésy az ő laboratóriumában is kutatott, és tanácsaival, méréseivel elősegítette a hallásjavító műtétek eredményeinek javulását. Később Samuel Rosen New Yorkban működő fülsebész, aki az első stapesmobilizációt végezte, szintén hajlott Békésy tanácsaira, és az audiológiai akusztikai mérésekben munkásságát felhasználta. Samuel Rosen 1962-ben a budapesti klinikán is járt, és elmesélte Békésyvel kapcsolatos élményeit. Így tudtuk meg, hogy együttműködik Békésyvel, és Békésy az ő számára készített audiológiai vizsgálóhelyiséget, berendezést és az új audiométert. A műtétek végzéséhez az audiométer elengedhetetlen.

Békésy nemcsak a középfül és belső fül mechanizmusát kutatta, hanem új vizsgálóberendezéseket is épített. Részben a csendes szobák kialakítását és a vizsgálóhelyiségek építését dolgozta ki, és új audiométert is konstruált. Ezzel a műszerrel a beteg automatikusan tudja mérni a saját hallását, és egyben a belső fül funkciójáról is képet ad. Tehát az új hallásjavító műtétek, az új műtétek elindításához, a kivizsgáláshoz is új lehetőségeket teremtett.

Az otosclerosis sebészetében először a fenestratio hozott forradalmi változást, majd Rosen a stapes mobilizációjával átalakította az otosclerosis gyógyulását. Később Shea és Rosen a stapedectomy bevezetésével további nagy lépést tett előre. A stapedectomy későbbi formája a stapedotomia, ebben az esetben a stapes-talp kivétele helyett a stapes-talpon készített ablakkal és egy úgynevezett piston behelyezésével biztosítjuk, illetve adjuk vissza a hallást.

A második világháború előtt a krónikus középfülgyulladás, a dobhártya, a hallócsontok betegségei igen gyakori megbetegedések voltak. Fertőző betegségek, a skarlát, a morbilli, sőt az influenza is igen gyakran a hallócsontok, valamint a dobhártya sérülését és pusztulását idézik elő. A krónikus középfülgyulladások – közöttük a cholesteatoma is – a hallócsontok sérüléseit okozzák. Ezen betegségek nagyfokú vezetékes halláscsökkenéshez vezettek. Zöllner és Wullstein két zseniális fülsebész, az egyik Freiburgban, a másik Würzburgban, a modern tympanoplastica bevezetésével a dobhártya, a hallócsontok műtéti pótlásával forradalmasította a középfülsebészetet.

Míg Amerikában a stapes-sebészet lépett nagyokat, addig Európában a középfül sebészete haladt előre.

Hazánkban mindkét területen gyorsan követtük a haladást. Cawthorne professzor Londonból, Samuel Rosen, majd később Pick Imre járt a budapesti klinikán, és megtanított minket a stapes sebészetére, sőt műszerekkel és mikroszkópos oldalnézőkkel is ellátott bennünket. Így egy-két évvel a műtétek felfedezése után a budapesti klinikán sikerült bevezetnünk a stapes korszerű sebészetét, és az elmúlt 39 év alatt eredményeink elérték a nemzetközi színvonalat.

A stapes-sebészet hamar elterjedt Magyarországon, és Közép-Európában az elsők között végeztünk korszerű stapedectomiát, stapedotomiát. Ma már ez rutinműtét, és az összes egyetemi klinikán és a nagyobb centrumokban sikerrel alkalmazzák.

A tympanoplastica Németországból terjedt hozzánk. Ezen a területen úttörő szerepet játszott Bauer professzor, aki saját anyag felhasználásával nemzetközi méretekben is kiváló eredményeket ért el.

A tympanoplastica elindulása is Békésy alapvető tudományos munkásságára vezethető vissza, ugyanígy az otosclerosis-sebészet javulásában is fontos szerepet játszott.

A legújabb hallásjavító műtét a kochleáris implantátum, mely alapjaiban megváltoztatta az eddigi elképzeléseinket a belső fül működéséről. Az ötlet itt is részben Békésytől származik. Békésy a Harvard Egyetemen történt nyugdíjba vonulása után meghívták Honoluluba, és a Hawaii Egyetemen folytatta munkásságát. Ez alatt az idő alatt gyakran tartózkodott Los Angelesben régi barátjánál, Kelemen Györgynél, aki a House Intézet kutatólaboratóriumának vezetését vette át, és az intézet könyvtárát a világon a legnagyobb gyűjteményével gyarapította. Itt adott tanácsokat a kochleáris implantáció bevezetésével kapcsolatban. Az ő zseniális tanácsai alapján végezték az első sikeres kochleáris implantációt Los Angelesben a House Intézetben. Az első sikeres betegek eredményeit még látta. Ezt az információt Kelemen György professzor juttatta el hozzánk, aki szoros barátságban volt Békésy Györggyel.

Összefoglalva elmondhatjuk, hogy Békésy az akusztikában, a fiziológiában, az audiológiában alapvető megállapításokat tett és alapvető alkotásai vannak. Az ő munkássága alapján felfigyelt a világ a fülkutatás fontosságára. Mi, magyar fül-orr-gégészek, pedig büszkéek vagyunk arra, hogy az egyensúlyszerv kutatásában elől járt Hőgyes és Bárány, a közép- és belső fül kutatásban pedig Békésy György.

Irodalom

- Békésy, Gy.: Über den Einfluss der nichtlinearen Eisenverzerrungen auf die Güte und Verständlichkeit eines Telephonie-Übertragungssystems. *Elektr. Nachr. Techn.*, 1928, 5, 231–246.
- Békésy, Gy.: Zur Theorie des Hörens: Über die Bestimmung des einem reinen Tonempfinden entsprechenden Erregungsgebietes der Basilmembran vermittelt Ermüdungserscheinungen. *Physik. Zeits.*, 1929, 30, 115–125 (354–368).
- Békésy, Gy.: Physikalische Probleme der Hörphysiologie. *Elektr. Nach. Techn.*, 1935, 12, 71–83.
- Békésy, Gy.: Zur Physik des Mittelohres und über das Hören bei fehlerhaftem Trommelfell. *Akust. Zeits.*, 1936, 1, 13–23 (104–115).
- Békésy, Gy.: Über die mechanisch-akustischen Vorgänge beim Hören. *Acta Oto-laryngol.*, 1939, 27, 281–296, 388–396 (31–32).
- Békésy, Gy.: Über die Schwingungen der Schneckenwand beim Präparat und Ohrenmodell. *Akust. Zeits.*, 1942, 7, 173–186.
- Békésy, Gy.: The vibration of the cochlear partition in anatomical preparations and in models of the inner ear. *J. Acoust. Soc. Amer.*, 1949, 21, 233–245 (30, 429–446).
- Békésy, Gy.: A new audiometer. *Acta-Oto-laryngol.*, 1947, 35, 411–422 (81–91).
- Békésy, Gy.: With W. A. Rosenblith. The early history of hearing: Observations and theories. *J. Acoust. Soc. Amer.*, 1948, 20, 727–748.

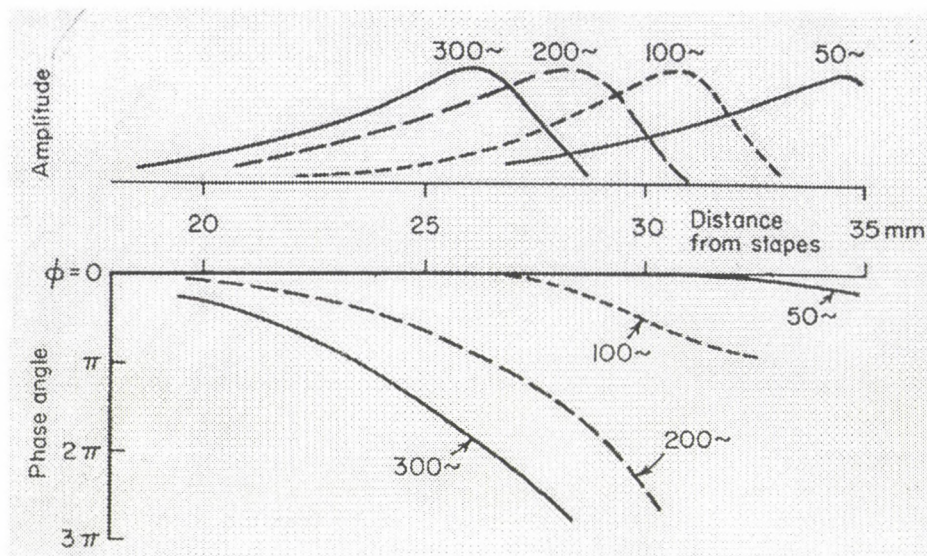
Ribári Ottó: Békésy György szerepe a modern hallásjavító műtétek kialakításában

- Békésy, Gy.: Resting potentials inside the cochlear partition of the guinea pig. *Nature*, 1952, 169, 241–242.
- Békésy, Gy.: Direct observation of the vibrations of the cochlear partition under a microscope. *Acta Oto-laryngol.*, 1952, 42, 197–201 (480–484).
- Békésy, Gy.: Note on the definition of the term: hearing by bone conduction. *J. Acoust. Soc. Amer.*, 1954, 26, 106–107.
- Békésy, Gy.: Current status of theories of hearing. *Science*, 1956, 123, 779–783 (539–547).
- Békésy, Gy.: The ear. *Scientific. Amer.*, 1957, 197, 66–78.
- Békésy, Gy.: *Experiments in Hearing*. (Transl., ed., E. G. Wever.) McGraw-Hill, New York, 1960.
- Corti, A.: Recherches sur l'organe de l'ouïe des mammifères. *Ztschr. wiss. Zool.*, 1851, 3: 109–169.
- Helmholtz, H.: Die Mechanik der Gehörknöchelchen und des Trommelfells. *Pflügers Arch.*, 1868, 1, 1–60.
- Politzer, A.: *Geschichte der Ohrenheilkunde*, 2 vols. F. Enke, Stuttgart, 1907.
- Ribári O., Küstel M., Speer Józsefné, Korpássy P.: Cochlearis implantáció. *Orvosi Hetilap*, 137. évf. 24. sz.
- Ribári O. (szerk.): *Fül-orr-gége gyógyászat, fej-nyak sebészet*. Medicina, Budapest, 1997.
- Retzius, G.: *Das Gehörorgan der Wirbelthiere*. 2 vols. Samson and Wallin, Stockholm, 1881, 1884.
- Shambaugh: *Surgery of the ear*. W. B. Saunders Company, Philadelphia, 1959, London.

Békésy haladóhullám-elmélete és mai felfogásunk az emlősök perifériás hallási mechanizmusáról

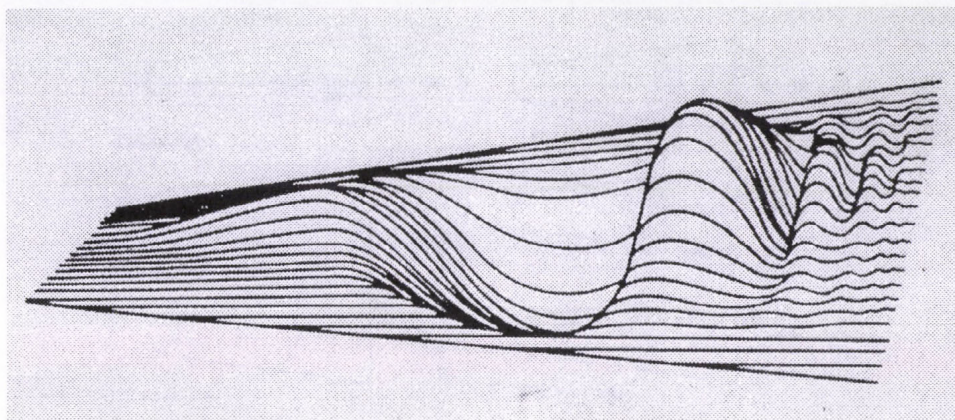
A hallásélettan két nagy hatású, klasszikus monográfiája Helmholtz *Die Lehre von den Tonempfindungen* (1863) és Békésy *Experiments in Hearing* (1960) című könyve. Az emlősök perifériás hanganalízisének vizsgálatában Békésy úttörő munkásságot fejtett ki, melynek során Helmholtz egyes állításait megerősítette, míg másokat megcáfolt (1. ábra). Helmholtz legfontosabb hipotézise, amelyet Békésy megerősített, a hallás kochleáris frekvenciahely-elmélete és ennek szoros összefüggése a hangmagasságérzet kialakulásával. Helmholtz egymástól független rezonátorokat tételezett fel a fülben, amelyek mindegyike egy-egy diszkrét frekvenciájú hang észrevételére alkalmas. Békésy felismerte, hogy az egymástól független rezonátorok vibrációja – az adekvát hangnak megfelelő frekvenciával – a kochleában nonszensz mint az emlősfül frekvencia-diszkriminációjának alapja, hiszen az a közeg, amelyben a hang keltette vibrációk a hallókészülékig (a Cortiszervig) terjednek, folytonos folyadékkezelet: a perilimfa. Helmholtz posztulálta a magas hangérzetet keltő hangok cochleobasalis kiindulású hallóidegrostokat aktiváló tulajdonságát, azokat tehát, amelyek közel vannak a hangoknak a cochleába való belépésének helyéhez, és amely egyben összhangban van azzal, hogy ezek a hangok a membrana basilaris cochleobasalis régiójában keltenek legnagyobb amplitúdójú vibrációkat. Békésy kísérletesen igazolta, hogy a membrana basilaris vibrációs maximumai léteznek, és hogy a hanginger kiváltotta vibrációs maximumok frekvenciaspecifikusak, valamint szorosan összefüggenek a szubjektív hangmagasságérzettel.

Békésy felfedezte, hogy a membrana basilaris vibrációs maximumai csak akkor alakulhatnak ki, ha hanghatásra haladó hullámok keletkeznek a cochleában. Ma már világos, hogy Georg von Békésy haladó hulláma a passzív vagy halott cochlea terméke, mivel lineárisan nő amplitúdója az ingererősséggel, és hangolási élessége igen csekély. Haladó hullám a passzív cochleában kialakuló hullám is, de csak a nagyon erős (normális körülmények között már fájdalomérzetet keltő) hangok hatására alakul ki. Ezzel szemben az emlősfület a nagy küszöbérzékenység és az éles hangmagasság-megkülönböztető képesség jellemzi.



1. ábra. Békésy eredeti ábrája a különböző frekvenciájú hangingerléssel elért haladó hullámok humán cadaver cochlea-csúcsi részében észlelt amplitúdó- és fázismérés-eredményei alapján (1960)

A cochleáris passzív mechanika, amely a cadaver-fülben is kialakítja a haladó hullámot, a cochlea fizikai tulajdonságainak a következménye. A durva frekvencia-analizátor, a membrana basilaris ugyanis a basistól a csúcs felé széleseedik, és ezenközben fokozatosan veszít feszességéből. Ez a hangnyomáshullám terjedési sebességét jelentősen befolyásolja. A stapes-talp (az utolsó hallócsont része) pisztonszerű mozgása által kialakított nyomásgradiens jellegzetessége ugyanis az, hogy amennyiben a hanginger hullámhossza a ductus cochlearis (scala media) hosszánál nagyobb, akkor az általa kialakított nyomásgradiens végighalad a cochleán anélkül, hogy terjedési sebessége közben változna. Más szóval az ilyen, hang által létrehozott haladó hullám sebessége független a hullámhossztól. Ezzel szemben ha a hanginger hullámhossza kisebb a ductus cochlearis hosszánál, akkor az általa kiváltott nyomáshullám terjedési sebessége a hullámhossz függvényévé válik. Ezt azonban még befolyásolja a membrana basilaris fizikai jellemzője is: ennek feszessége csökken a basistól a csúcs felé haladva. Emiatt a nyomásgradiens hullám (haladó hullám) a membrana basilari-son a cochlea-csúcs felé való terjedése közben veszít sebességéből, amplitúdója pedig nő. Ezalatt hullámhossza progresszíven csökken. A hullámhossz-rövidülés következménye alapvető fontosságú. Ez okozza a Békésy által leírt és jellemzett haladó hullámot (2. ábra).

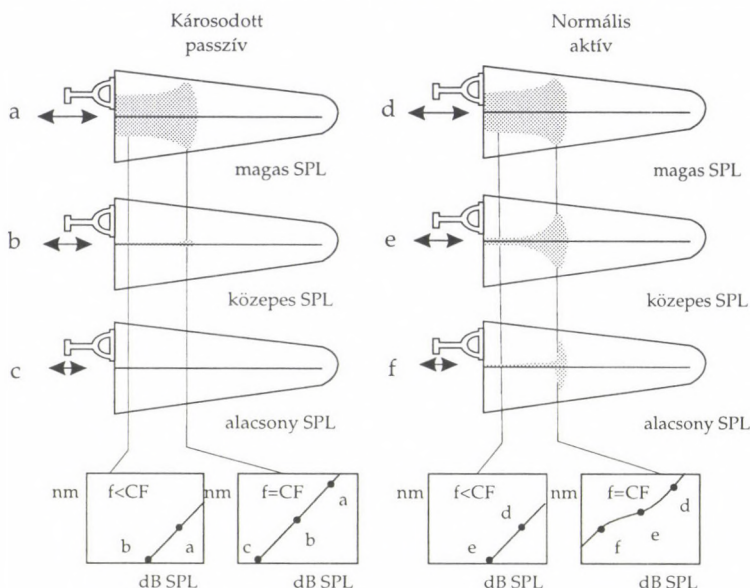


2. ábra. A haladó hullám 3 dimenziós szimulációja a membrana basilarison, érzékeltetve a membránnak a cochleabázistól a csúcs felé való szélesedését

A haladó hullám kochleába való behatolásának mélysége a hullámszám függvénye: annak reciproka ($\lambda/2\pi$). Ennek megfelelően ahogy a hullámhossz (λ) csökken, a nyomásgradiens a kochleáris skálákon keresztül egyre kevésbé lesz homogén. A ductus cochlearis hosszánál rövidebb hullámhosszúságú hangok energiájának propagációja hullámhosszuk rövidülésével egyre csökken, míg végül kioltódnak, amikor eléri amplitúdómaximumukat. A membrana basilarisnak az a pontja, ahol ez megtörténik (az amplitúdómaximum kialakulása), a kérdéses frekvenciájú hang karakterisztikus frekvenciájú helye. Minden különböző frekvenciájú hangnak megvan a neki megfelelő és egymástól eltérő karakterisztikus frekvenciájú helye a membrana basilarison. A magas hangok karakterisztikus frekvenciájú helyei a cochlea bázisán vannak, a mélyeké a csúcson. A két szélső érték között a frekvenciareprezentáció fokozatosan eloszlik. Mindezek a sajátosságok tehát a paszszív vagy halott emlőskochleára is jellemzők.

Jelen elképzelésünk a hallás perifériás analíziséről olyan kochleáris elemek fontosságát is magában foglalja, amelyek az élő vagy aktív kochleát képessé teszik a hangosságfokozódás nonlinearis feldolgozására, a nagy küszöbérzékenységre és az éles frekvenciadiszkrimináció (hangmagasság-megkülönböztető) képességére. Matematikai kalkulációk szerint a küszöberősségű hangok energiája nem elegendő ezek meghallására (De Boer, 1983). Másként megfogalmazva: helyi erősítő mechanizmus szükséges a küszöb körüli erősségű hangok meghallásához, amely fokozza a hanginger energiáját szinuszciklusról szinuszciklusra.

Spoendlin eredeti megfigyelése (1969) volt az első építőköve ennek a teóriának a kidolgozásában, amely szerint a halló végkészülék érzéksejtípusai, a külső és belső szőrsejtek beidegzési mintázata alapvetően eltérő. A belső szőrsejtek gya-



3. ábra. Linearizált cochleamodellek a passzív és aktív belsőfül-működés közötti különbség demonstrálására. A traumatizált vagy passzív cochleában (a, b, c) a membrana basilaris-vibrációk alacsony érzékenyséűek (csak erős ingerrel válthatók ki), nem lokalizálhatók a membrán egy megadott pontjára. A hangintenzitás-értékek hangnyomáásszintben (Sound Pressure Level, SPL) vannak megadva. Ez a vibrációk amplitúdójának lineáris input-output összefüggését eredményezi minden frekvencián és a cochlea minden régiójában (az ábra bal oldali alsó kettő diagramja). Az aktív cochleában (d, e, f) alacsony ingererősség esetén (f) a vibrációk 1000-szer érzékenyebbek a passzív cochleáénál és csak a membrana basilaris kis, körülírt része rezeg. Az ingererősség növelésével (e) a vibrációs mintázat egyre hasonlabb a passzív cochleában észlelhetőhöz, és nagyon erős hangoknál azonos azzal (d). A hangerő növekedésével az aktív cochleában egyre csökken az aktív cochleáris erősítőműködés szerepe (jobb oldali alsó diagram)

korlatilag csak afferens beidegzést kapnak, a külső szőrsejtek pedig szinte kizárólag csak efferens idegrostokat. Dallos és Harris (1978) leírták, hogy a külső szőrsejtek (amelyek nem kapnak afferens idegrostokat) szelektív elpusztítása ototoxikus antibiotikummal a hallásműködést mintegy 50%-kal rontja (maximum 50 dB percepció nagytóhallás alakul ki). A külső szőrsejtekről kiderült, hogy képesek hossztengeyük mentén szomatikus rövidülést és megnyúlást kivitelezni elektromos erőterben (Brownell, 1983). A külső szőrsejtek rövidülés-megnyúlás válaszkészségét depolarizáló, illetve hiperpolarizáló feszültségingerre elektro-

motilitásnak nevezték el, amely végeredményben reverz transzdukció a kochleáris érzékhámban a priméren kivitelezett mechanoelektrikus (hanginger receptorpotenciállá alakítása) transzdukcióhoz képest. A külső szőrsejtek elektromotilitását ma kochleáris erősítőnek tekintjük. Ez a motilis működés tehát feszültségfüggő, és energiát csatol vissza a rezgő Corti-szervre a szinuszoid természetű hanghullám minden szinuszciklusában. A folyamat független a sejt energiatermelő folyamataitól: teljes adenosin-trifoszfát-depláció esetén is fennáll.

Mai nézetünk a hallóperiféria működéséről Békésy lineáris haladóhullám-elméletétől elsősorban abban tér el, hogy az emlős-belsőfül akusztikusinger-felvétele és annak ingerület-átalakító képessége nonlinearis, azaz a nagyon kis intenzitású ingerek felvételekor speciális lokális energia-visszacsatoló folyamat erősíti az audibilis ingererősség szintjére. Ez a külsőszőrsejt-elektromotilitás mint kochleáris erősítőműködés elveszti hatékonyságát az erősebb hangok (>50 dB) esetén, és ezzel összefüggően felelős az éles frekvenciadiszkriminációért is (3. ábra). Az úgynevezett frekvenciahangolási görbék alacsony ingerküszöbű csúcsa, ahol a kochleáris erősítőműködés a leghatékonyabb, ugyanis az egyes hallóidegrostok saját, jellemző, diszkrét frekvenciájának megfelelő frekvencián figyelhető meg, tehát a frekvenciadiszkrimináció alapja is.

A hallóhám kétféle receptorsejttípusa, a külső és belső szőrsejtek, a hallás folyamatában együttműködnek. A belső szőrsejtek szállítják az akusztikus információt az agynak (hiszen ezeknek az afferens beidegzése). A külső szőrsejtek receptorpotenciálja viszont elektromotilitássá konvertálódik, amely javítja a belső szőrsejtek ingerfelvívő képességét (4. ábra). Az aktív, azaz motoros elemeket (elektromotilis szőrsejteket) tartalmazó cochlea terméke az otoakusztikus emisszió (Kemp, 1978). Ennek megléte klinikai diagnosztikai eszköz ma már, annak megítélésére, hogy a nagyothalló beteg külső szőrsejtjei működőképeseek-e.

Külső szőrsejt	Belső szőrsejt
Szttereocilium-elhajlás	Szttereocilium-elhajlás
Mechanoelektrikus transzdukció	Mechanoelektrikus transzdukció
Receptorpotenciál	Receptorpotenciál
Elektromechanikus transzdukció	Neurotranszmitter-felszabadulás
Elektromotilitás: rövidülés, megnyúlás	Akciós potenciál a hallóidegben

4. ábra. A hang érzékelésének perifériás folyamata a különböző típusú érzékszervekben

Irodalom

- Békésy Gy.: *Experiments in Hearing*. McGraw Hill Book Co., USA, 1960.
- Brownell, W. E.: Observations on a motile response in isolated outer hair cells. In Webster WR, Aitkin LM (eds): *Mechanisms of hearing*. Monash University Press, Clayton, Australia, 1983, 5–10.
- Dallos, P., Harris, D. M.: Properties of auditory nerve responses in the absence of outer hair cells. *J. Neurophysiol.* 1978, 41, 365–383.
- De Boer, E.: No sharpening? A challenge to cochlear mechanics. *J. Acoust. Soc. Am.*, 1983, 73, 567–573.
- Helmholtz, H.: *Die Lehre von den Tonempfindungen*. Verlag von Fr. Vieweg und Sohn, Braunschweig, 1863.
- Kemp, D. T.: Stimulated acoustic emissions from the human auditory system, *J. Acoustic. Soc. Am.*, 1978, 64, 1386–1391.
- Spoendlin, H.: Innervation patterns in the organ of Corti in the cat. *Acta Otolaryngol.* (Stockholm) 1969, 67, 239–254.

Újabb adatok a neurodegeneratív kórképek és a kísérletes halláskárosodás patomechanizmusához

Békésy György (1899–1972) a cochleán belüli ingerlés fizikai mechanizmusának felfedezéséért kapta közel négy évtizede, 1961-ben az orvosi Nobel-díjat. Elsőként figyelte meg a membrana basilaris mozgásának törvényszerűségeit, és ábrákon szemléltette a különböző frekvenciáknál észlelt szelektív rezgését. Összefüggést keresett a membrana basilaris hossza és a hangterjedelem között, s azt tanulmányozta, hogy az milyen mértékben határozza meg a fül frekvencia-szétválasztó képességét.

Klinikailag igazolt, hogy időskorban, illetve egyes központi idegrendszeri megbetegedésekben – így például az Alzheimer-kórban – jelentős halláscsökkenés észlelhető. Valószínűsíthető az, hogy a „neurodegeneratív folyamatokban” szerepet játszó patobiokémiai történések tehetők részben felelőssé e halláscsökkenésért is.

Melyek a neurodegeneratív kórképek patomechanizmusának jelenleg elfogadott legfontosabb megállapításai?

Mitokondriális eredetű anyagcserezavar

E betegségekben (Huntington-betegség, Parkinson-kór, amyotrophiás lateralsclerosis, Alzheimer-kór, cerebelláris degeneráció) a mitokondriális anyagcsere szerzett vagy veleszületett károsodása is észlelhető, amely sérülékenyebbé teszi az idegsejteket mikrokörnyezetük patokémiai változásaira. Ez módosítja a Ca^{++} -homeosztázist, számos intracelluláris folyamatot aktiválva, a sejt pusztulását eredményezi. A neuronkárosodással párhuzamosan demencia is kialakulhat.

A mitokondriumok külső membránja permeábilis a nagyobb molekulák számára, míg a belső membrán relatíve kevésbé átjárható. Ez a belső membrán tartalmazza az elektrontranszport enzimrendszereket. A mitokondrium mátrixában zajlik a Szent-Györgyi–Krebs ciklus. Itt keletkezik a NADH és a FADH_2 , amelyek a belső membrán elektrontranszport enzimjeinek az elektront szolgáltatják. Oxidatív foszforilációnak nevezzük a redukáló ekvivalensek transzportját az oxigénhez és a felszabaduló energia ATP formában történő tárolását.

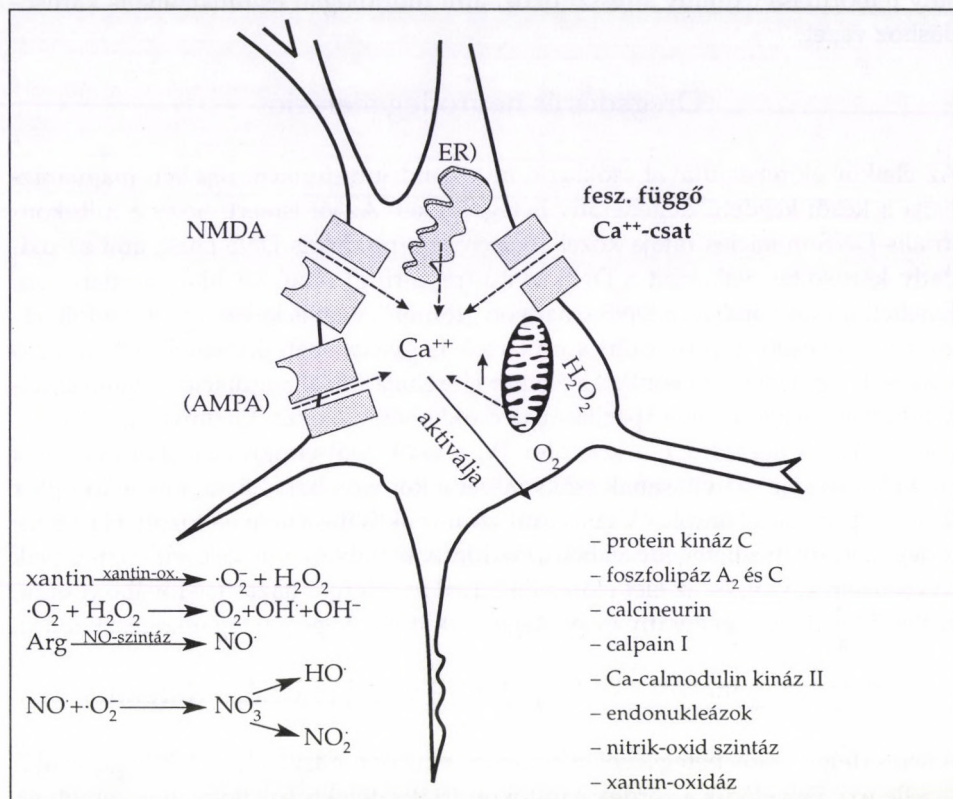
A sejttag DNS-e több mitokondriális proteint kódol, többek között a légzési lánc enzimeinek egyes alegységeit, a replikáció, a transzkripció, a transzláció komponenseit, valamint a mátrix és a membránok fehérjéit. Habár az ismert mutációk előfordulása a mitokondriális DNS-ben lényegesen gyakoribb (közel tízszer), nyilvánvaló, hogy mind a nukleáris, mind a mitokondriális eredetű örökítőanyag károsodása zavart okozhat a mitokondrium finoman szabályozott működésében. Ha a mitokondriális működészavar klinikailag autoszomális domináns módon öröklődik, akkor sejttagi DNS-nek kell kódolnia, mivel a mitokondriális DNS mutációi anyai ágon adódnak át.

Excitotoxikus mechanizmus

Alapvetően háromféle ioncsatornához kötött excitotoxin receptort ismerünk: N-metil-D-aszpartát (NMDA), α -amino-3-hidroxi-5-metilizoxazol-4-propionsav (AMPA) és a kainát receptorok. Megkülönböztetünk gyors és lassú excitotoxicitást. A gyors folyamat az excesszív mennyiségben felszabaduló mediátorok akut toxikus hatásához köthető (akut hipoxiás károsodás, epilepsziás működészavar, hipoglikémia), míg a lassú vagy más néven gyenge mechanizmus az energiatranszport-zavarhoz kapcsolható. Ez utóbbi folyamat játszhat szerepet a degeneratív betegségek kialakulásában.

Szabad gyökök képződése

A mitokondriális enzimeket érintő változások az oxidatív foszforiláció csökkenését okozzák, ezáltal az ATP-szint is csökken, ami a Na^+/K^+ -ATP-áz működészavarához és az intracelluláris Na^+ akkumulációjához vezet. Ez megszünteti az NMDA receptor feszültségfüggő Mg^{++} -blokkját, amely Ca^{++} -influxot és Na^+ -kiáramlást okoz. Az emelkedett intracelluláris Ca^{++} -szint (receptoraktiválódás) különböző mechanizmusokon át okozza a sejtek pusztulását (Ca^{++} -dependens neurotoxicitás). Az egyik legjelentősebb mechanizmus a szabadgyök-képződés. A párosítatlan elektronú, úgynevezett szabad gyökök közé tartozik a szuperoxid (O_2^-), a hidroxilgyök (OH^-), a nitrogén-oxid (NO^-) és a peroxinitrit-anion (ONOO^-). Ezek a kémiai anyagok nagyon reakcióképesek, a keletkezésük helyén elektront vonnak el a környező molekuláktól, oxidatív károsodást okozva. Különösen az enzimek és a DNS-molekula sérülékeny. A reaktív gyökök természetes körülmények között is képződnek kis mennyiségben a sejtek anyagcseréje során, és nagyon fontos szabályozó funkciót töltenek be (génexpresszió szabályozása). A sejten belül a mitokondrium a legfőbb forrása a szabad gyököknek. Kísérletes adatok azt bizonyítják, hogy mind az NMDA, mind az AMPA/kainát-receptoraktiválódás ezen reaktív gyökök képződését okozza. Az összekötő kapocs a excitotoxinok és a



1. ábra. A Ca⁺⁺-ion hatására szabad gyökök keletkeznek az idegsejtben

mitokondrium között a Ca⁺⁺. A megnövekedett intracelluláris Ca⁺⁺-ot egy transzport rendszer a mitokondriumba szállítja, és ott szabad gyök képződik (1. ábra).

Védekezés az oxidatív stressz ellen

Az oxidatív stressz elleni védekezésben a sejtek természetes antioxidáns rendszerei is részt vesznek. Ezek közé egyrészt enzimek, másrészt különböző molekulák tartoznak. Az enzimek közül a legfontosabbak a kataláz, szuperoxid-diszmutáz, glutation-peroxidáz, glutation-reduktáz és a ferroxidáz. Ezek az enzimek az antioxidáns hatású molekulákkal (aszorbinsav, α -tokoferol, húgysav, A-vitamin, bilirubin) együtt jelentik a védekezést az aktív gyökök ellen. Kísérletes adatok alá is támasztják ezeket a megfigyeléseket. Transzgenikus egérben, amely fokozottan expresszálja a szuperoxid-diszmutázt, *in vivo* az NMDA mediált toxicitás jelentősen csökkent. A szabad gyökök és a védekezőrendszerek közötti kényes egyen-

súly felborulása oxidatív stresszt okoz, ami morfológiai és funkcionális károsodáshoz vezet.

Öregedés és neurodegeneráció

Az életkor előrehaladtával csökkenő mitokondrium-funkció részben magyarázhatja a késői kezdetű degeneratív betegségeket. Az jól ismert, hogy a mitokondriális DNS mutációs rátája közel 10-szerese a nukleáris DNS-ének, ami az oxidatív károsodás, valamint a DNS-javító (repairing) rendszer hiánya miatt van. Emellett a mitokondrium DNS-e nagyon „tömör”, vagyis kevés a nem kódoló régió (úgynevezett intron), ezért a mutációk is gyakrabban érintenek funkcionáló szakaszt (úgynevezett exont). Az életkor előrehaladtával a mutációk száma emelkedik, ami a légzési lánc kapacitásának csökkenését okozza. Enzimvizsgálatok bizonyították a komplex I, a komplex IV, a szukcinát-citokróm c redukáz és a citokróm-oxidáz aktivitásának csökkenését a kor előrehaladtával, míg a komplex II, a komplex III, a komplex V és a citrát szintáz aktivitása nem változott. Ha a neurodegeneratív megbetegedésekben az oxidatív metabolizmus veleszületetten csak részlegesen zavart, és az élet előrehaladtával az energia-háztartás tovább romlik, ez késői kezdetű degeneratív megbetegedés klinikai képében fog manifesztálódni.

Neurodegeneratív kórképek és a mitokondriális defektus

A neurodegeneratív betegségeket bizonyos neuronrendszerek szelektív pusztulása jellemzi. Felvetődik a kérdés: a mitokondriális defektusok hogyan vezethetnek egyik vagy másik sejtcsoport degenerációjához, illetve miként lehetséges az hogy a mitokondrium funkciózavara nem egyformán okoz eltéréseket a neuronokban?

A legtöbb esetben az Alzheimer-kór és a Parkinson-betegség sporadikusan fordul elő, és ez jól illeszkedik ahhoz a megfigyeléshez, miszerint az ismert mitokondriális betegségek is szórványos előfordulásúak. Az elektrontranszportzavar és a szelektív neuronpusztulás közötti kapcsolatra az első bizonyítékok közé tartozik az a megfigyelés, hogy a Leber-féle optikus atrófiában (amelyet a komplex I ND6A alegységének pontmutációja okoz) putamen- és nucleus caudatus-atrófiát is észleltek. A szelektív neuronpusztulás egyik lehetséges magyarázata a légzési lánc komplexeinek szövetspecifikus jelenléte. Az utóbbi időben több ilyen szövetspecifikus humán izoenzimet izoláltak.

Halláskárosodás és szabad gyökök

Újabb adatok azt igazolják, hogy hang indukálta (120-125 dB/3 óra) akusztikus traumát követően szabad gyökök képződnek a tengerimalac belső fülében a stria

vaszkuláris marginális sejtjeinek lumenális membránján. E szabad gyökök szöveti károsodást okozhatnak. Ezzel párhuzamosan igazolták, hogy a kalciumkötő fehérjék expressziója azonnal növekedett a hanginger követően. Ez a megfigyelés lehetőséget nyújt a hallópálya neurodegeneratív és neuroprotektív folyamatainak vizsgálatára. Felvetődik a kérdés, hogy szabadgyök-fogó vegyületek, illetve trofikus faktorok befolyásolják-e a hanginger okozta kochleáris károsodást. A vaskelátképző deferroxamin-mezilát, a mannitol, illetve a gliális neurotrofikus faktor alkalmazását követően csökkent a kochleáris károsodás.

Az eredmények azt valószínűsítik, hogy a neurodegeneratív kórképek, illetve a hangindukálta halláscsökkenés patomechanizmusában hasonló folyamatok játszhatnak szerepet. Ez egyúttal felveti azt is, hogy szabadgyök-fogó vegyületek és excitotoxin receptor -antagonisták potenciális terápiás lehetőséget jelenthetnek e kórképek kezelésében.

Irodalom

- Beal, M. F.: *Mitochondrial Dysfunction and Oxidative Damage in Neurodegenerative Diseases*. Springer, New York, 1995.
- Békésy, Gy.: Concerning the pleasures observing and the mechanics of the inner ear. Les Prix Nobel en 1961. In Fóti M.: *Az orvostudomány és az életten Nobel-díjasai. 1901–1973*. Medicina, Budapest, 1975.
- Idrizbegovic, E., Bogdanovic, N., Canlon, B.: Modulating calbindin and parvalbumin immunoreactivity in the cochlear nucleus by moderate noise exposure in mice. A quantitative study on the dorsal and posteroventral cochlear nucleus. *Brain Res.*, 1998, 800, 86–96.
- Vécsei, L., Dibó, Gy., Kiss, Cs.: Neurotoxins and neurodegenerative disorders. *NeuroToxicology*, 1998, 19, 511–514.
- Yamane, H., Nakai, Y., Takayama, M., Iguchi, H., Nakagawa, T., Kojima, A.: Appearance of free radicals in the guinea pig inner ear after noise-induced acoustic trauma. *Eur Arch. Otorhinolaryngol.*, 1995, 252, 504–508.
- Yamasoba, T., Schacht, J., Shoji, F., Miller, J. M.: Attenuation of cochlear damage from noise trauma by an iron chelator, a free radical scavenger and glial cell line-derived neurotrophic factor *in vivo*. *Brain Res.*, 1999, 815, 317–325.

A cochlea anatómiája

A cochlea és környezete a fülsebészet és az idegsebészet számára is fontos térség, az itt végzett műtétek pontos anatómiai ismereteket követelnek. A hazai és nemzetközi irodalomban kutatva úgy találtuk, hogy kevés azon munkák száma, melyek a cochlea sebészeti anatómiájával foglalkoznak. Kérdéseinkre, hogy milyen a cochlea térbeli helyzete, szerkezete, milyen a környezetéhez való finom topográfiai viszonya, nem kaptunk kielégítő választ, ezért kezdtük el vizsgálni a cochleát.

Vizsgálódásaink során legnagyobb problémánk az volt, hogyan lehet egy üregrendszert a leoptimálisabban, térben megjeleníteni. Lehetőség van feltöltésre; mi Wood-fémmel, önkötő akriláttal és szilikongumival próbálkoztunk (1. ábra).

Lehetőség van csontfúróval elfrézelni a cochlea falait, illetve különböző síkokban el lehet vágni a vizsgált struktúrákat.

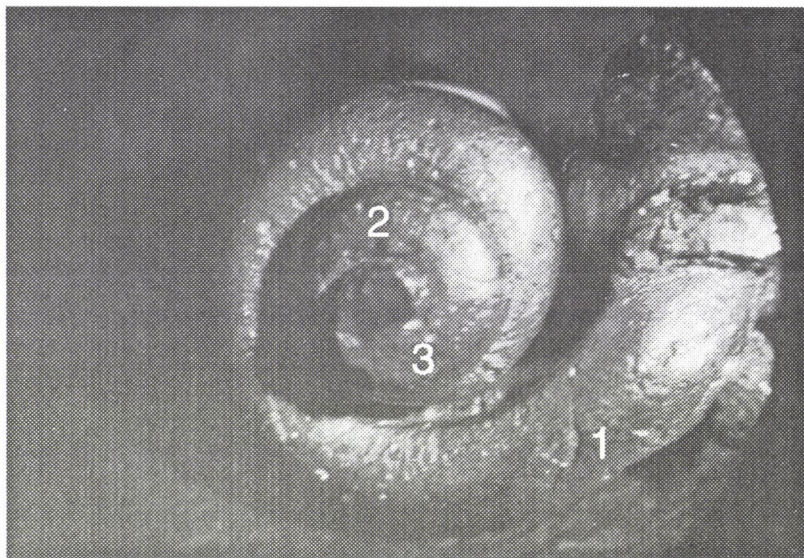
Mindezeknél jobbnak találtuk, ha csiszolással rétegsorozatokot készítünk, mert így tudunk a legtöbb információhoz jutni.

Speciális befogószerkezetet készítettünk, melynek segítségével 0,5 mm-es előtolással teljesen elcsiszoltuk a halántékcsonthoz, s közben minden rétegről színes diapozitívokat és fekete-fehér negatív felvételeket készítettünk. A diapozitívokat speciális referenciapontok segítségével, nagy pontossággal egymásra vetítettük, s így kaptuk az előadásban később látható projekciós rajzokat (2., 3. ábra).

A cochlea megjelenítésekor nagyon fontos a nézőpont irányának a megjelölése, vagyis hogy milyen síkban történtek a csiszolások, hiszen a csiszolási síkok változásával lényegesen módosulhat a kép. Az általunk vizsgált síkok a következők:

- a modiolus tengelyére merőleges sík (1),
- ehhez képest 30°-kal lefelé forgatott sík (2),
- a halántékcsonthoz tengelyére merőleges síkban hátulról előrefelé (3),
- alulról felfelé (4), illetve
- a m. a. ext. tengelyére merőleges síkban lateral felől medial felé (5).

Az 1., 3., 4. síkokat azért választottuk, mivel így a tér mindhárom irányában vizsgálható a cochlea kiterjedése, szerkezete és lefutása. A 2. síkot azért választottuk, mert azt tapasztaltuk, hogy ebben a síkban egyetlen szeleten is nagy cochlearészlet látható. Az 5. sík pedig azt a képet mutatja, ahogyan a fülsebész műtét közben láthatná a cochleát.



1. ábra. A cochlea Wood-fémöntvénye oldalnézetből.

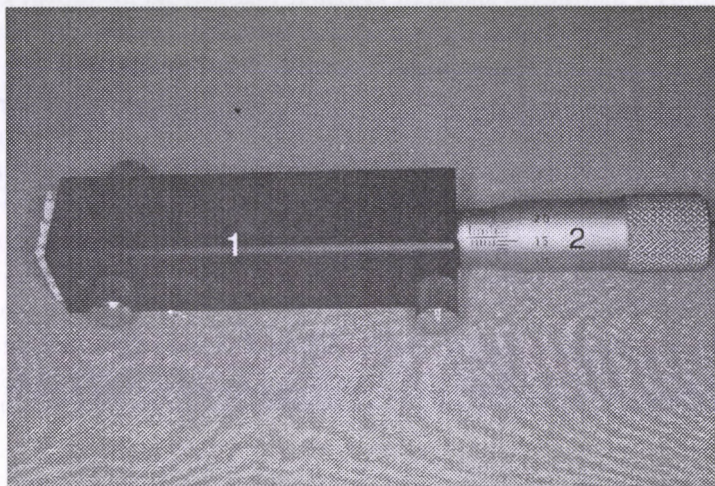
1. Bazális kanyarulat. 2. Második kanyarulat. 3. Harmadik kanyarulat

A cochlea anatómiájának megismerésekor dobüregi támpontokra is szükségünk van, ezért most tekintsük át a csiga környezetében elhelyezkedő képleteket (4. ábra):

- fossa ovalis (1),
- subiculum promontorii (2),
- fossulae fenestrae rotundae (3),
- sustentaculum promontorii (4),
- hypotympanum (5),
- canalis caroticus (6),
- semicanalis musculi tensoris tympani (7) a processus cochleariformisszal (8).

Cochlea alulnézetben, a bazális kanyarulat dominál (5. ábra). A bazális kanyarulat mediális íve a fossa stapedis elülső szélénél kezdődik, megtöretés nélkül halad előre és a medial felé. A laterális ív először a lateral felé halad, majd az úgynevezett apex promontoriinál megtörik, és a medial felé halad tovább. Ennek a medializálódásnak az lesz az értelme, hogy a 2. és 3. kanyarulat az így keletkezett árokba bele tud feküdni, s a cupula, valamint az apex promontorii területe egy síkban marad.

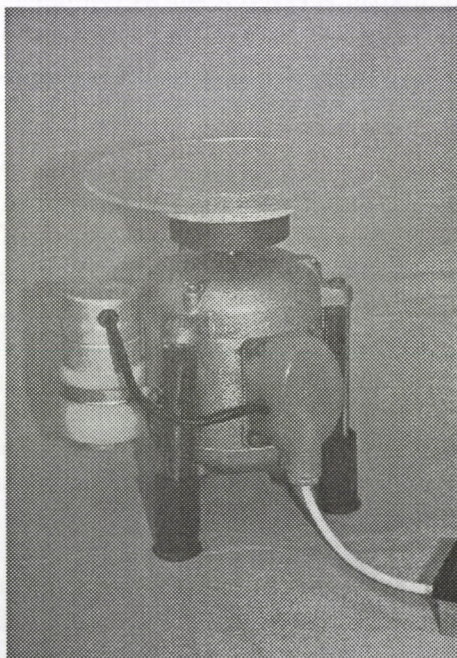
A lamina spiralis ossea a vestibulum és a kerek ablak határánál kezdődik, ahol közel vízszintes állású; ívének képzeletbeli folytatása a ponticulus medialis és lateralis síkjába esik.



2. ábra. A csontcsiszolatok elkészítéséhez használt speciális befogó szerkezet.

1. A csontkocka befogására szolgáló fémház.

2. Az előtolás mértékét állító mikrocsovar



3. ábra. Vízszintes forgólapú csiszológép a halántékcsonthoz finom csiszolásához

A modiolusra merőleges síkokból készített rekonstrukciós rajzon kijelöltünk speciális síkokat, nevezetesen a postis posteriortól 2,5, 4,5 és 7 mm távolságokban, majd ezen síkokban elmetsettük a cochleát.

A csigacső nemcsak anteroposterior, mediolateral és inferosuperior irányokban mutat kitérést, hanem saját tengelye körül el is csavarodik. Ezt a csavarodást nagyon jól mutatja a lamina spiralis ossea helyzete. A kerek ablaknál közel vízszintes helyzetű, majd tovább haladva közelít a függőleges irány felé, azt kissé túl is lépheti. Irányváltása nem egyenletes: a postis posteriortól 4,5 mm-re 70–75°, míg 7 mm-re már csak további 20–25° az elmozdulás mértéke. A lamina spiralis ossea csavarodásának az lesz a következménye, hogy a kerek ablak szomszédságában a scala vestibuli felül, a scala tympani alul helyezkedik el, míg a bazális kanyarulat canalis caroticus melletti szakaszában a scala vestibuli előrekerül, s mögötte található a scala tympani. Ez az utóbbi szituáció jellemző a csiga további csavarulataira is, tehát a scala vestibuli előtt, a scala tympani hátul (6. ábra).

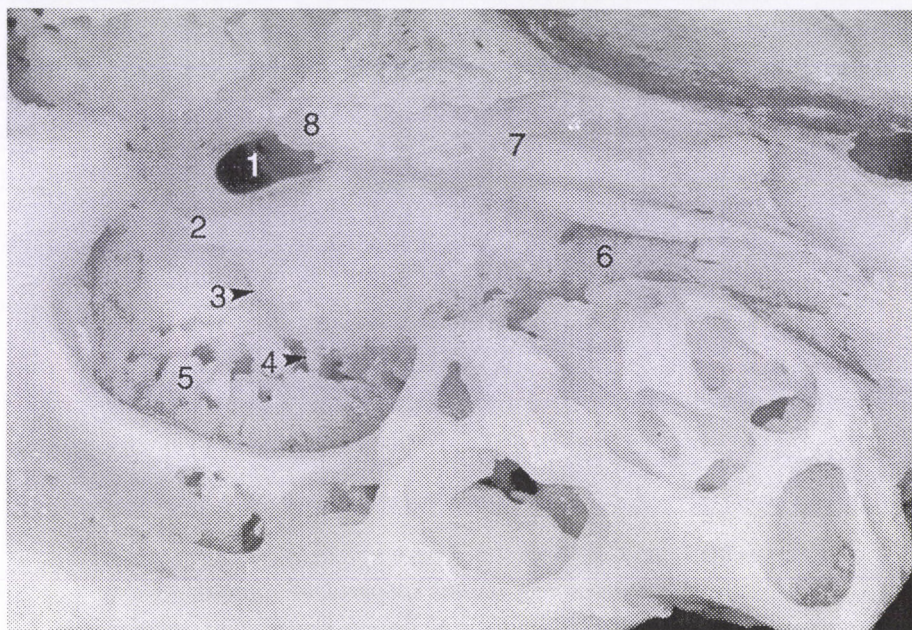
A cochlea előtt, vele sajátos topográfiai viszonyban található a canalis caroticus, melynek megtalálásában nagy segítségünkre van a semicanalis musculi tensoris tympani alatt két üreg, a vallecula infundibularis és a sacculus promontorii.

A canalis caroticus a promontorium felszínén tetszőleges helyet foglalhat el. Bizonyos halántékcsontokban egészen a sulcus tympanicus legelülső pontjáig húzódik hátra, bizonyos halántékcsontokban pedig egészen a cochlea elé kerül. A két szélső érték közötti távolság 6 mm. Mivel a canalis caroticus ív mentén mozoghat, ezért nemcsak anteroposterior, hanem mediolateral irányba is kitéréseket mutat. A kitérés mértéke 1 és 3 milliméter között mozog.

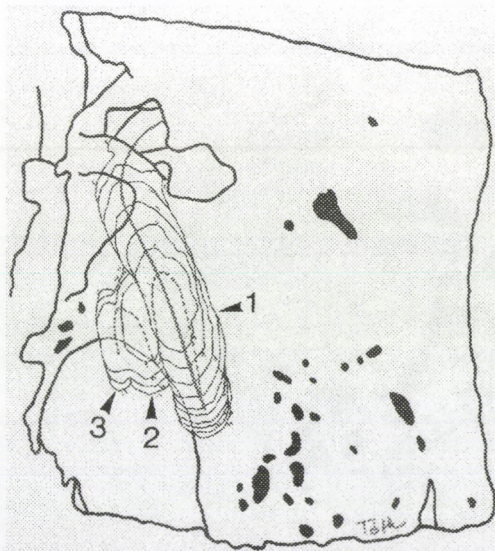
A felfelé futó canalis caroticus a cochlea közelébe kerülve egy tengely körül elfordul. Ez az elfordulás addig tart, amíg emelkedése közben távolodni nem kezd a cochleától. Innentől már egyenesen halad az ékcsonk teste felé.

A csiga első kanyarulata, mely a geniculum n. VII-ig tart, egy majdnem zárt gyűrűt képez. Ez a gyűrű, mint kígyó az áldozatára, rászorul egy kúp alakú testre, a modiolusra. A modiolusnak a belső hallójárat felőli vége egy tányérszerű mélyedés, ezt nevezzük fossa cochleae-nek. Ez a mélyedés úgy illeszkedik az első kanyarulatba, mint egy lavór egy felfújt gumibelsőbe. Az első kanyarulat másik, dobüreg felé eső oldalán is található egy mélyedés, azonban ez virtuális tér, ide fekszik be a 2. és 3. kanyarulat egy mediolateral irányban lapított labdaként. E virtuális teret neveztük el *sinus toroideus*-nak.

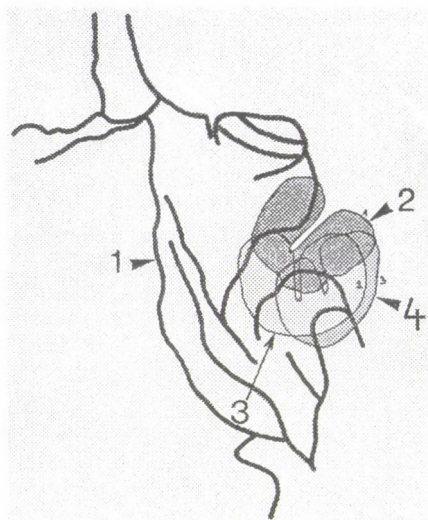
Több száz halántékcsonk áttekintése után azt tapasztaltuk, hogy az esetek jelentékeny részében a Jakobson-csatorna, a fossa stapedis hosszanti tengelye és a tegmen fossulae fenestrae rotundae szabad széle egy szabályos háromszöget rajzol ki. Ezen háromszög torzulásának milyensége jellemző a torzulást okozó elváltozásra.



4. ábra. A dobüreg mediális fala a lateral felől



5. ábra. A cochlea alulnézetből. 1. Bazális kanyarulat.
2. Második kanyarulat. 3. Harmadik kanyarulat



6. ábra. A bazális kanyarulat keresztmetszetei a promontoriumhoz viszonyítva.

1. Promontorium. 2. Bazális kanyarulat (2,5 mm).

3. Bazális kanyarulat (4,5 mm). 4. Bazális kanyarulat (7 mm)



7. ábra. A cochlea felosztása környezetéhez való viszonya alapján.

1. Pars geniculotegmentalis. 2. Pars muscularis. 3. Pars promontorialis

Lenyúlt tegmen fossulae fenestrae rotundae esetén az egyenlő szárú háromszög egy trapézra módosul.

Szűk kerek ablak esetében lefelé nyúlik a háromszög, míg a magas bulbus venae jugularis a Jakobson-csatornát előretolva torzítja a háromszöget.

Minden új ismeret felfedezésekor felvetődik a kérdés: mi a haszna? Mit jelentenek számunkra ezek az új ismeretek?

A cochleát sebészi szempontból 3 részre osztottuk (7. ábra):

- *pars superior seu geniculotegmentalis,*
- *pars media seu muscularis.*
- *pars inferior seu promontorialis.*

A csiga bazális kanyarulata, valamint a 2. és 3. kanyarulat kicsiny területe található a promontorium mögött. Az első kanyarulat magasan a semicanalis musculi tensoris tympani fölé nyúlik, ezen térség műtéti kezelése csak felülről lehetséges. A pars muscularis a dobüreg fölül műthető a musculus tensor tympani és a vékony csontlemez alkotta csontos izomcsatorna elvétele után.

A halántékcsonthorizontális metszetein, amelyeket a radiológiában axiális síkként emlegetnek, nehéz a jó térbeli tájékozódás. Annak segítségével, hogy egyetlen szeletből rekonstruálni tudjuk a teljes csiga helyzetét, megalkottunk egy tompaszöveget. A tompaszög egyik szára a promontorium síkjára fektetett egyenes, a másik pedig a cochlea első és harmadik kanyarulatának legventrálisabb szélét összekötő egyenes. A modiolus tengelye mindig e két egyenes találkozási pontjára mutat.

A belsőfül s ezen belül a cochlea sebészete most kezd fellendülni, így reméljük, munkánkkal hozzájárulunk a lehetőségek minél jobb kiaknázásához.

MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYA

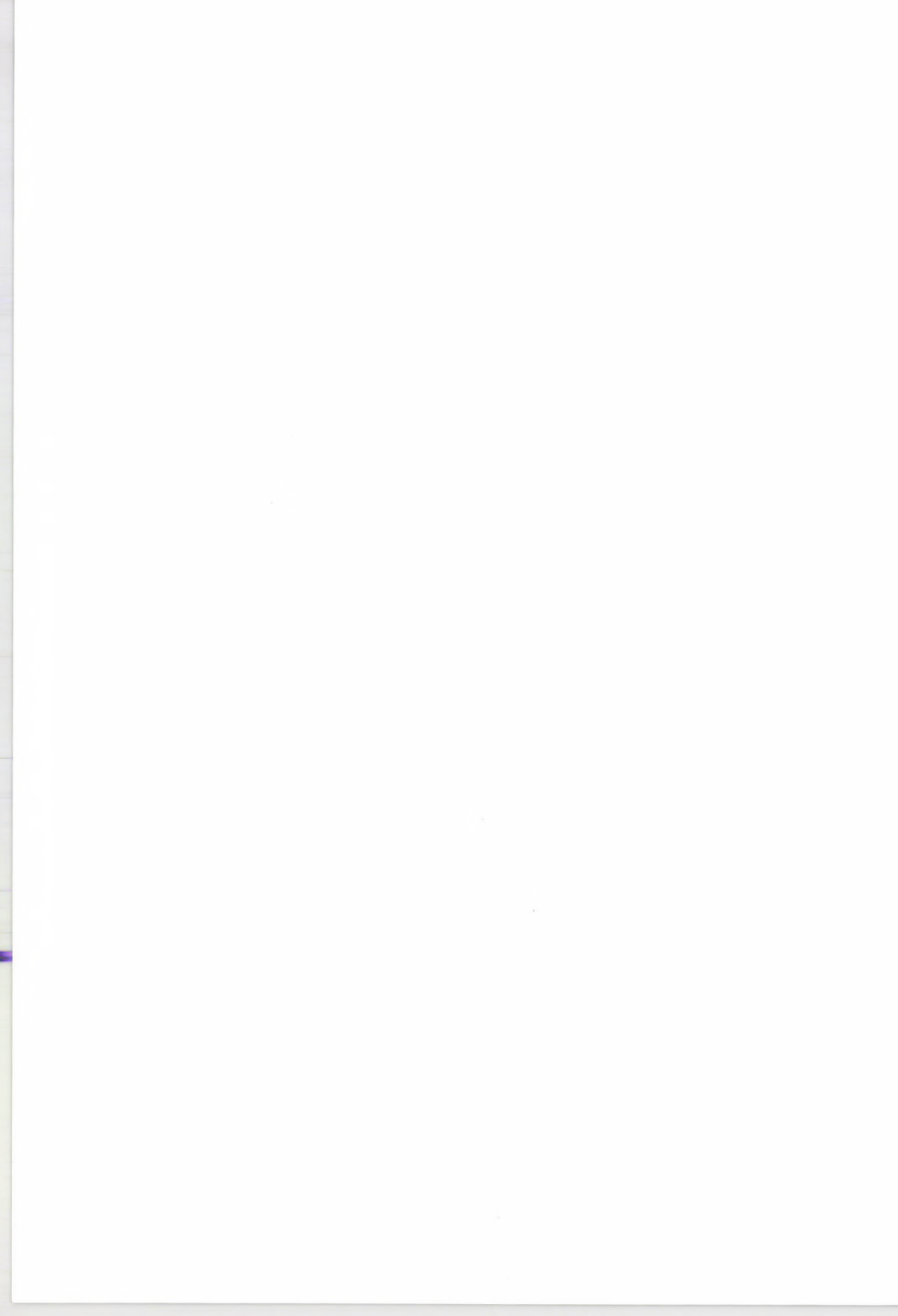
MECHANIKA – ELMÉLET ÉS GYAKORLATI ALKALMAZÁSOK

MECHANIKA ÉS GÉPSZERKEZETEK

MECHANIKA ÉS TARTÓSZERKEZETEK

MECHANIKA ÉS ANYAGTUDOMÁNY

MECHANIKA ÉS ÉLETTUDOMÁNY



A numerikus mechanika szerepe a gépészetben

1. Bevezetés

A számítástechnika, az informatika tudományának és eszközrendszerének – többek között –, a számítógépek teljesítményének növekedése az utóbbi években, a kontinuummechanika elméletének fejlődésével együtt, a fizikai jelenségek ez ideig soha nem látott bonyolultságú modellezésére, azok megbízható kezelésére, gyors kiszámítására, az eredmények grafikai megjelenítésére, illetve sokoldalú analizisére adnak módot. A kapott eredmények áttekinthető értékelésével a bonyolult elméletek a mindennapos mérnöki gyakorlat alkalmazott eszközévé váltak.

A gépészmérnöki gyakorlatban kiemelt szerepe van a mechanikának, mivel a gépek, berendezések működésének és a különböző technológiai eljárásoknak a leírásánál, szimulálásánál kialakított modellek jelentős része mechanikai jellegű. A mai számítógépi lehetőségeket figyelembe véve a valóságot egyre pontosabban megközelítő modellek felállítására, megoldására nyílik lehetőség. Ezeket a modelleket részben a tervezéshez, a gyártáshoz, részben pedig az üzemeltetésnél jelentkező problémák elemzéséhez lehet felhasználni. Több szempontból is indokolt tehát az, hogy a mechanikai modellezés legújabb módszereinek oktatása helyet kapjon a gépészmérnökök képzésében.

2. Modellezés

A számítógépek megjelenése és elterjedése kedvező irányba befolyásolta a modellezés nem könnyű feladatát.

Mint ismeretes, egy számítási modell megalkotását általában két ellentétes kíváncsiság teljesítése befolyásolja: 1. a modell minél jobban helyettesítse a valóságos testet, folyamatot és annak körülményeit; 2. a mechanikai jellemzők jó közelítéssel, minél kevesebb számítással meghatározhatók legyenek. A modellezés során mérlegelni kell a környezeti hatásokat (a terhelés térbeli megoszlását, időbeli lefolyását, a hőhatást, az elektromágneses hatást stb.), az anyag szerkezetét,

viselkedését: rugalmas, nem rugalmas, időtől független avagy nem, homogén/inhomogén, izotróp/anizotróp, a kialakuló alakváltozást, elmozdulást (kicsiny, nagy), a geometriai alakot, annak megváltozását, a megfogásokat, a testek kölcsönhatását (érintkezést, szilárdtest és folyadék által alkotott rendszerek együttes vizsgálatának lehetőségét, piezoelemek hatását stb.).

Figyelemre méltó tény, hogy amíg az 1950-es években a lineáris feszültségi analízisben a mérés 95%-os arányt képviselt, az 1970-es években ez az arány 50%-ra csökkent, az 1990-es években pedig már csak 1%-kal szerepel a 99%-os számítógépes szimulálás mellett. Az aerodinamikában az 1980-ban még 90%-ban alkalmazott szélcsatornás vizsgálat helyett, 1990-ben már csak 10%-os szélcsatornás vizsgálat szerepel a megbízható számítógépes eljárások kidolgozása és alkalmazásbavétele következtében.

A számítógéppel segített mérnöki tevékenység fejlődését figyelve a következő szakaszok különböztethetők meg:

Amíg

1965–75 között a számítógépes géprajzi szerkesztés és a numerikus mechanika végeelem-módszerére alapozott számítások különállóan folytak,

illetve

1975–85 között a lineáris szerkezetanalízisre alkalmas végeelem-programmal integrált tervező rendszerek jöttek létre,

addig a legutóbbi évekre a nemlineáris véges elemmel integrált rendszerek létrehozása, a gyártási folyamatok szimulálása, prototípusok szimulációs tesztelése, különféle szakértői rendszerek létrehozása a jellemző. A vektor és a többprocesszoros számítógépek megjelenése pedig új fejezetet nyit a nemlineáris feladatok számítógépes vizsgálatában.

A modellezéssel kapott peremérték-feladat egzakt megoldása ritka esetektől eltekintve nem lehetséges. Éppen ezért a gyakorlat számára rendkívül fontosak azok a numerikus technikák, amelyekkel a problémát közelítő módon megoldva, a közelítés becslése is megadható. A mechanikai problémák egy részénél sikeresen alkalmazhatók a differenciálegyenletek felett közvetlen működő „projektív” (Bubnov–Galjorkin-, Petrov-, stb. féle) módszerek, illetve a differenciálegyenleteket közvetlenül fel nem használó, úgynevezett energetikai módszerek (virtuális munka/teljesítmény elve, potenciális energia minimumelve stb.). Ez utóbbiak alkalmazásánál jelentős előnyként jelentkezik az, hogy a közelítő mezők folytonosságát alacsonyabbrendűségben kell biztosítani, mint amit a differenciálegyenlet eredetileg megkövetel. Amennyiben a közelítő mezők felépítésénél a lokális approximálás elvét alkalmazzuk, akkor az úgynevezett végeelem-módszerhez jutunk [1–9].

A modellek felépítésének elméleti megalapozásával, a kapott mechanikai modellekhez kapcsolódó matematikai kezdeti peremérték-feladatok közelítő megold-

dási módszereinek kimunkálásával, a gyakorlati problémák analízisével egyre több folyóirat foglalkozik. A számítástechnika fejlődésével az ilyen témájú publikációk száma rohamosan nő. Ennek érzékeltetésére szolgáljon például az az adatsor, miszerint a numerikus mechanika egyik legnépszerűbb, igen színvonalas folyóiratában, az *Int. J. for Numerical Methods in Engineering*-ben 1969-ben, az alapítás évében 401 oldalon 25 munka látott napvilágot, 1980-ban már 116 cikk jelent meg 2062 oldalon. Az elmúlt évben 4650 oldal 197 munkát tartalmazott.

A szakemberek összefogására 1984-ben az International Association of Computational Mechanics, majd 1992-ben a közép-európai országokat tömörítő Central European Association for Computational Mechanics társaság jött létre. Az országonként megrendezett szimpóziumok, konferenciák, kontinenseket átfogó kongresszusok száma – egyre nagyobb érdeklődés mellett – folyamatosan nő.

A modern tervezőrendszereken belül a geometriai anyagtulajdonságok, szerkesztési szabványok, előírások megadásán kívül a szerkezet, technológiai eljárás analízisére, szimulálására, optimalására mechanikai, elsősorban végeselem-módszerre alapozott közelítő számításokat biztosító modulok szolgálnak, illetve azok csatlakoztathatók.

A gépészeti modellt általában két fő oldalról vizsgálják. Egyik oldal a funkcionális vizsgálathoz kapcsolódó kinematikai és dinamikai analízis, a másik erőtan – a feszültségállapot meghatározása. A funkcionális vizsgálat az üzemeltetési paraméterek hatásának elemzésével egészül ki: a kopás, zaj, súrlódási veszteségek stb. gépszerkezettani vizsgálata ad útmutatást a konstrukció, a technológia módosítására. A feszültségállapot ismeretében – az anyagtudományi eredményeket figyelembe véve – lehet dönteni a tönkremenetel különböző eshetőségeiről. Természetesen a modell helytállóságát, megfelelő voltát az elvégzett kísérletek, üzemeltetési tapasztalatok igazolhatják csak vissza, avagy hívják fel a figyelmet a pontosítás szükségességére.

3. A numerikus mechanika lehetőségei

A numerikus mechanika mint tudományterület elhelyezkedését, azt mint alkalmazott modellek és méretek nagyságrendjét, más tudományterületekhez viszonyított helyét az 1. táblázat tünteti fel [10]. Az új anyagok, kompozitok vizsgálata, a szerkezeti anyag mikro-, kialakítása” sem mellőzi a numerikus mechanika használatát.

Az analízis számítógépesítésének előnyei különösen a *nemlineáris feladatoknál* jelentkeznek. Ismeretes, hogy anyagi és geometriai nemlinearitásokat szokás megkülönböztetni [11]. Az anyagi nemlinearitást kis elmozdulás avagy nagy elmozdulás, illetve alakváltozás kísérheti. Geometriai nemlinearitásról akkor szokás beszélni, ha az elmozdulások nagyok, illetve a peremfeltételek változása

1. táblázat

Modell	Tudományterület	Méretek [m]	Vizsgálat típusa
Fenomenologikus makromechanika	Numerikus mechanika	$10^{-2} \sim 10^0$	Szerkezetanalízis Képlékeny alakítás
Mikromechanika	Numerikus anyagtudomány	10^{-4}	Repedés Képlékeny alakváltozás lokalizációval
Polikristályok		10^{-6}	Üregnövekedés Csúszások
Kristályok		10^{-8}	Diszlokáció
Atommodellek	Kvantummechanika Molekuláris dinamika Numerikus kémia	10^{-10}	Transzportfolyamatok alapjai, fázistranszformációk

nemlineárisan befolyásolja a szerkezet viselkedését. Az elmozdulások kicsiny vagy nagymértékű alakváltozásokkal párosulhatnak.

Az anyag oldaláról szemlélve a modelleket, a gépészet jelentős területe rugalmas anyagmodellel írható le, geometriailag lineárisan (szerszámgépek, szállítóberendezések, munkagépek, járművek, hő- és áramlástani gépek, különféle gépalkatrészek, a törésmechanika egyes kérdései stb.), illetve geometriailag nemlineáris feladatok jelentkeznek hajlékony elemek, gumikompozitok, lemezek, héjak, érintkezési problémák, stabilitási kérdések stb. tárgyalásánál.

A nemlineáris feladatok egy része a vékony szelvényű rudaknál, lemezezt, illetve héj típusú szerkezeteknél jelenik meg, míg másik részük a képlékeny alakítás különféle technológiáival van kapcsolatban. Az elsónél a kritikus terhelés meghatározása, a határállapot utáni viselkedés nyomon követése jelent komoly problémát [12].

Rugalmas-képlékeny test modellel használunk teherbírás számításánál [13]. Az utóbbi időkben egyre szélesebben geometriailag nemlineáris leírással gépgyártás-, alakítástechnológiai kérdések, például forgácsolás, képlékeny alakítás (hengerlés, hegesztés, folytatás, kovácsolás, mélyhúzás, zömítés), törések elemzése végezhető el [14–17].

A képlékeny alakításnál az anyagi nemlinearitás mellett a nagy elmozdulások és az érintkezési viszonyok miatti geometriai nemlinearitás is megjelenik, amely módfelett bonyolítja a megoldás felépítését. Ugyanakkor az érintkező felületek érdességének, képlékeny összenyomódásának, különféle sűrűlódási törvényeknek a figyelembevételére, hőátadási problémák elemzésére is mód kínálkozik [18], [19].

A nemlineáris feladatok egy másik osztályánál nagy fontosságú a különféle szálakkal erősített gumiiipari termékek, gumiköpenyek, kompenzátorok, csövek stb. vizsgálata, a gumi összenyomhatatlanságának figyelembevétele, a gumiköpeny és a talaj közötti érintkezési viszonyok tisztázása [20].

A fentiekből is látjuk, hogy a numerikus technikák közül igen nagy népszerűségnek örvend a végeselem-módszer. A felhasználó jogos követelése, hogy tisztán lássa a véges elemes számítás hibáját, az eredmények pontosításának útját. A valóságos szerkezet mechanikai modelljének végeselemes közelítő megoldásakor felvetődnek azok a kérdések, hogy milyen a közelítés hibája és megoszlása, a megoldás hogyan pontosítható, a pontosításra rendelkezésre állnak-e konvergencia eljárások, ezek algoritmizálhatók-e. Tehát lényeges probléma, hogyan lehet a közelítés pontosságát javítani.

A gyakorlatban a számítás pontosítására háromféle eljárás terjedt el. Amennyiben a pontosítást a felvett elemháló sűrítésével érhetjük el, akkor az úgynevezett h eljárásról beszélünk, ahol h az elem befoglaló legnagyobb méretére utal. A második esetben az elemméretek változatlanul hagyása mellett az elemek belüli p fokszámot növeljük, míg a harmadik esetben a kétféle eljárást kombináljuk, azaz úgynevezett hp eljárást alkalmazunk. Az utóbbi évek kutatásai adaptív (önszabályozó) eljárásokat fejlesztettek ki a fenti közelítő technikák esetére. Vagyis a számítógépi programok képesek a diszkretizálási hibákat vezérelve megállapítani azokat a területeket, ahol a végeselem méretei túlságosan nagyok (avagy a fokszám túlságosan alacsony), vagyis a szabadságfok növelését optimálisan kialakított elemhálózattal végzik el.

A hibák csökkentésének vezérlése energetikai normák vizsgálatán keresztül történik [9].

A feszültségállapot szingularitásának szempontjából az alábbi szerkezet típustokat szokás megkülönböztetni. Az elsőnél nincs szingularitás, a másodiknál a szingularitások ismertek, és ezek a végeselem csúcspontjába esnek, míg a harmadiknál a szingularitások változnak (rugalmas-képlékeny zóna hatása).

Síkbeli rugalmasságtani feladatoknál a h típusú közelítéshez képest (egyenletes elemsűrítésnél) a p kétszer olyan gyorsan konvergál, továbbá a p típusú közelítés a szingularitások környékén felvett elemsűrítéssel nagyságrendekkel javítja a konvergencia sebességét. Vagyis ugyanazon hibát a p típusú közelítésnél kevesebb ismeretlennel tudjuk elérni.

A hibanorma előírt érték alá való csökkenésére adaptív eljárásokat dolgoztak ki [21]. Számos hálógenerálással kapcsolatos munka látott napvilágot. Jó összefoglalókat, a legújabb kutatási eredményeket találjuk meg a [22]-ben. Ezen eljárások nagyon fontosak, hisz a számítás automatizálásával a hiba a kívánt érték alá szorítható.

4. Főbb kutatási irányok

Az irodalmat követve, a kutatásokon belül az alábbi főbb tendenciák figyelhetők meg.

4.1 Valóságos viszonyokat jól leíró modellek felépítése

A számítógépek adta lehetőségekkel a fizikai jelenségek nemlineáris hatásait is figyelembe tudjuk venni. A nemlineáris, időben változó anyagtulajdonságok, a felületi érdekesség (tribológiai problémák), az egymáson elcsúszó testek kopása, a hőfejlődés [23], az elektromos és mágneses hatások, a különböző alakítástechnológiai folyamatok (hegesztés, képlékenyalakítás, forgácsolás...), a folyadékot, gázt tartalmazó szilárd testek (tartályok, csővezetékek) időben változó terhelés melletti viselkedésének tisztázása olyan kihívások, amelyekre választ kell adni kísérletekkel jól megalapozott különböző fenomenológikus modellek felállításával és a kapott modellek megbízható megoldásával.

4.2 Megoldási módszerek kutatása

A számítógépek sebessége ugyan napról napra növekszik, de a megfelelő pontosság elérése, különösen nemlineáris feladatoknál, előtérbe helyezi a végelelem-módszer területén az

- új variációs módszerek megalapozását,
- új, hatékony elemtípusok kidolgozását,
- az elemháló adaptív szabályozását, újragenerálását [21, 22, 24],
- az algebrai egyenletrendszerek megoldásának gyorsítását, különféle iterációs technikák alkalmazását [25],
- többprocesszoros számításoknál parallel technikák kifejlesztését [26].

A feladattípustól függő módszer kiválasztásánál effektív diszkretizálási technikák kérdései is felbukkannak. Például az, hogy a feladat megoldása analitikus és numerikus módszer kombinálásával lehetséges-e. A peremelem-módszer [27] és a végelelem-módszer közül melyiknek a használata a célszerűbb, avagy a kettő kombinációja ad-e előnyöket [28]?

Változatlanul érdeklődésre tart a Runge–Kutta-féle módszer felhasználása különféle peremérték-feladatok megoldására [29].

4.3 Kapcsolt fizikai mezőkkel összefüggő feladatok

A feladatok egyik nagy osztályát a testek érintkezésénél a felületi mikrogeometria, a súrlódás anizotropiája [30], a súrlódás okozta hőfejlődés, illetve a kopás nyomon követése jelenti [31], amikor is testekként tizenhat hőtani és mechanikai mezőre vonatkozó, nemlineárisan kapcsolt differenciálegyenlet-rendszert kell megoldani gyorsan, ugyanakkor megfelelő pontossággal.

A feladatok másik osztálya az adaptív szerkezetekkel, mechatronikai építőelemekkel kapcsolatos [32]. Komplex mechanikai rendszereknél a kedvezőtlen környezeti hatásokra való reagálás megkívánt követelmény. A végeselem-módszer alkalmazása nagyon jó lehetőséget biztosít az adaptív szerkezetek analizálására, mivel a meglévő elméleti alapok bázisán a piezoelektromos mezőkkel kapcsolt rendszerek kezelhetővé válnak. A kutatások egyik iránya a meglévő VEM programrendszereket a kapcsolt mezők leírására szolgáló új elemekkel bővíti ki. Külön súllyal jelenik meg a piezoelektromos réteget tartalmazó rétegeshéj- és -lemez-elméletek felépítése, az ezekre vonatkozó számítások elvégzése [33].

A feladatok harmadik osztálya a tönkremenetel előrejelzésével kapcsolatos. A repedés kialakulásához, a repedésterjedéshez, a tönkremenetel előrejelzéséhez megbízható (kísérletekből kapott) kritériumok kellenek [34], továbbá ezekhez a feszültségállapot magas fokú approximációja szükséges. Itt is a végeselem-módszer vagy a peremelem-módszer *hp-verziójú* számítása a javasolt.

4.4 Szimuláció, virtuális gyártás

A valóságot leíró mechanikai modelleket egyrészt a feszültségek, másrészt az elmozdulások, a dinamikai jellemzők meghatározására szokás felhasználni. A feszültségekből – anyagtudományi eredményeket felhasználva – a tartós szilárdságra, élettartamra lehet következtetni, míg a másik csoport a berendezés működésére ad felvilágosítást. A szimuláció egyik vonulata az anyagmodellek pontosításával (például kompozitoknál [35] a mátrix és az erősítő szálak közötti kapcsolat tisztázásával, a gyártás során keletkező maradók feszültségek meghatározásával [36]) kapcsolatos. A másik vonulat a gépészeti berendezés, a technológia különböző paraméterek (terhelés, anyagtulajdonság, geometria stb.) melletti viselkedésének előrejelzéseire ad módot. Ez utóbbinál döntő, hogy a prototípus legyártása nélkül [37] numerikusan vizsgálni lehet a szerkezetet, a bevezetésre váró gyártástechnológiát. Így egy virtuális gyártást lehet megvalósítani, aminek igen nagy előnye a gyorsaságon kívül az olcsóság: numerikus kísérletekkel tisztázni lehet az egyes paraméterek hatását, optimális megoldásokat lehet feltérképezni. Ennek fontossága a kiéleződő piaci versenyben egyre jelentősebb.

4.5 Multidisziplináris optimalítás

A szerkezetek optimális kialakításának fejlődésével [38] olyan problémák jelennek meg, amelyeknél több, eddig különálló diszciplína hatását kell együttesen, sokszor egymástól eltérő prioritással súlyozni. Például a szerkezet, a technológia kialakítása környezetvédelmi szempontok mérlegelésével. Külön konferenciák foglalkoznak ezzel az új területtel [39]. A kompozitok megjelenésével számos alapozó munka látott napvilágot (például [40–43]). Optimizációs kérdésekkel (az anyag megtervezése, alak kialakítása) is sokan foglalkoznak [44].

4.6 Mechatronikai rendszerek

A géptervezés új szemléletének vagyunk tanúi, hiszen a gépek, berendezések nagy része elektromosan vagy valami más energia felhasználásával működik, oly módon, hogy ezeket vezérelni is kell. Ezáltal a mechanika, az informatika, az elektrotechnika, a szabályozástechnika tudásanyagát és módszereit közösen kell használni egy nagy rendszeren belül. Lényegében a valóságos szerkezetek, berendezések dinamikai tulajdonságainak nyomon követése az összes kölcsönhatás számításbavétele mellett válik lehetségessé. A nagy sebességű robotok, mechatrizmusok működésének fejlettebb modelljei már az elemek alakváltozását is figyelembe veszik [45], [46].

5. Programrendszerek használata

A numerikus mechanika lehetőségeinek a mérnöki gyakorlatban való felhasználása egyrészt a mérnökök mechanikai ismereteinek szélességétől és mélységétől függ, másrészt a modern végeelem-/peremelem-módszereket felhasználó programrendszerek által nyújtott lehetőségektől.

A mechanikai ismeretek bővítését szolgálják a végeelem-módszerrel [47–50], a kontinuummechanikával [11] kapcsolatos kurzusok egyetemeken, illetve a nemlineáris feladatok felállítását, megoldását, anyagtörvények alaposabb elsajátítását elősegítő könyvek [51–56].

A nemzetközi piacon számos általános rendeltetésű végeelem-programrendszer kapható. A p verziójú elemekre alapozott rugalmasságtani és képlékenységtani számításokra ad módot a STRESS-CHECK programrendszer, a számítások konvergenciáját bemutató diagramok megjelenítésével. Ez a programrendszer <ftp://ftp.esrd.com> címről próbaidőre letölthető. Igen népszerűek az ABAQUS, ALGOR, ANSYS, ASKA, COSAR, COSMOS/M, IDEAS, LUCAS, MARC, NISA, MSC/NASTRAN, RASNA, SYSTUS stb. programrendszerek. Teljes körű használá-

latuk elsajátítása a felhasználó felkészültségétől függően jó néhány hónapot igényel. A kapott eredmények szakszerű értékelése azonban elképzelhetetlen alapos mechanikai ismeretek nélkül.

6. Következtetések

A fenti rövid áttekintés remélhetőleg bizonyította, hogy a mechanika szerepe a gépészetben belül nem csökken, hanem egyre erőteljesebben növekszik.

Ezt alátámasztják:

1. Pontosított modellek építhetők fel, mert a vizsgált objektum alakjára gyakorlatilag nem rónak korlátokat, meglehetősen bonyolultak lehetnek a megfogási, megtámasztási, anyagi viselkedést leíró fenomenológikus egyenletek/egyenlőtlenségek, a terhelés időbeli lefutására és térbeli megoszlására sem kell egyszerűsítéseket alkalmazni, az alakváltozás mértéke is meghaladhatja a klasszikus lineáris elméletet stb.

2. Összetett rendszerek (szilárd test–folyadék/gáz alkotta rendszer, piezoelektromos elemeket tartalmazó intelligens szerkezetek) statikai, dinamikai vizsgálatára nyílik lehetőség.

3. Új gépek, szerkezetek tervezésénél, gépgyártás-technológiai folyamatok vizsgálatánál, gépek, szerkezetek üzemeltetésénél jelentkező kinematikai, dinamikai, szilárdságtani állapotok meghatározására, szimulálására felépített „mechanikai” modellek nagy szabadságfokú végeselem-/peremelem-módszerre alapozott numerikus technikákkal kényelmesen kezelhetővé váltak.

4. Komplex tervezői rendszerek állnak rendelkezésre, amelyekhez könnyen csatlakoztathatók a mechanikai modellek analízisére alkalmas számítógépi programok.

5. Új szakma jelent meg, amely a

- mechanikai problémák analízisével, optimalásával,
- speciális szoftverek fejlesztésével,
- modellek identifikálásával,
- számítógépes rendszerek betanításával, telepítésével,
- a mechanikai numerikus módszerek fejlesztésével, tanításával foglalkozik.

6. Új termékek és technológiák fejlesztésével kapcsolatos éles piaci versenyben a korszerű szilárdságtani, dinamikai, multidiszciplináris ismeretek stratégiai fontosságúak, ami nagyban növeli az ezen ismeretekkel bíró mérnökök értékét.

A fentiek egyben azt is hangsúlyozzák, hogy a gépészmérnökképzésben a mechanikai ismeretek oktatása, begyakorlása, az ehhez szükséges tanórák, tantárgy választási lehetőségek biztosítása rendkívül fontos, kiemelt oktatásszervezési feladat, jelentőségének megfelelően kezelendő.

Irodalom

1. Zienkiewicz, O. C. – Cheung, Y. K.: *The finite element method in structural and continuum mechanics*. McGraw-Hill Book Company, London – New York, 1970.
2. Oden, J. T.: *Finite elements of nonlinear continua*. McGraw-Hill Book Company, New York, 1972.
3. Rozin, L.: *Osznovii metoda konecsnük elementov v teorii uprugosztii*. Leningrad, 1972.
4. Strang, G. – Fix, G. J.: *An analysis of the finite element method*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 07632, 1973.
5. Bathe, K. J.: *Finite element procedures in engineering analysis*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 07632, 1982.
6. Kardestuncer, H. – Norrie, D. H. (eds): *Finite element handbook*. McGraw-Hill Book Company, New York, 1987.
7. Hughes, T. J. R.: *The finite element method: Linear static and dynamic finite element analysis*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 07632, 1987.
8. Zienkiewicz, O. C. – Taylor, R. L.: *The finite element method*. Vol 1, *Basic formulation and linear problems*. McGraw-Hill Book Company, New York, 1989. Vol 2. *Solid and fluid mechanics, Dynamics and non-linearity*. McGraw-Hill Book Company, New York, 1991.
9. Szabó, B. – Babuska, I.: *Finite element analysis*. John Wiley & Sons, Inc., New York, 1991.
10. Noor, A. K.: *Computational structures technology – LEAP frogging into the twenty-first century*. Advances in Computational Structures Technology, ed. by Topping, B. H. V., CIVIL-COMP Ltd. Edinburgh, Scotland, 1996, 1 – 18.
11. Kozák, I.: *Kontinuumechanika*. Miskolci Egyetemi Kiadó, Miskolc, 1995.
12. Crisfield, M. A.: *Non-linear finite element analysis of solid and structures*. Vol. 1, Vol. 2. John Wiley & Sons, New York, 1991, 1997.
13. Kaliszky, S. – Kurutzné Kovács, M. – Szilágyi, Gy.: *Mechanika II. Szilárdságtan*. Tankönyvkiadó, Budapest, 1990.
14. Marusich, T. D. – Ortiz, M.: Modelling and simulation of high-speed machining. *Int. for J. Num. Mech. Engng*, 1995, Vol. 38, 3675 – 3694.
15. Maekawa, K. – Shirakashi, T.: Recent progress of computer aided simulation of chip flow and tool damage in metal machining, IMechE, PartB. *Journal of Engineering Manufacture*, 1996, Vol. 210, 233 – 242.
16. Kobayashi, S.: A review on the finite element method and metal process modelling. *J. Appl. Metalworking*, 1982, 2, 163 – 169.
17. Fourment, L. – Balan, T. – Chenot, J. L.: Optimal design for non-steady-state metal forming process I – II., *Int. J. for Num. Meth. Engng*, Vol. 39, 1996, pp. 33 – 50, 51 – 65.
18. Crisfield, M. A.: A review of contact and friction in finite element analysis. NAFEMES, REF. R 0022, 1992.
19. Onate, E.: A prespektive of recent developments in the finite element simulation of metal forming processes. *First European Conference on Numerical Methods in Engineering, Brussels, Methods in Engineering, Brussels, 7 – 11 September 1992*.
20. *Héjelméleti modell alkalmazása mezőgazdasági abroncsok vizsgálatára*. Kutatási jelentés EKO 5310397, Miskolci Egyetem, Mechanikai Tanszék, 1992.
21. *Modeling, Mesh Generation, and Adaptive Numerical Methods for Partial Differential Equations*. Ed. by Babuska, I.-Flaherty, J. E., Springer Verlag, Budapest, 1995.
22. *Finite elements in analysis and design*, Special Issue. Vol. 25, No. 1 – 2, No. 3 – 4, 1997, 1 – 198, 199 – 360.
23. Strömberg, N. – Johanson, L. – Klarbring, A.: Derivation and analysis of a generalized standard model for contact, friction and wear. *Int. J. Solids Structures*, 1996, 33, 1817 – 1836.
24. Babuska, I. – Szabó, B.: *New problems and trends in the finite element method*. Ed. by Whiteman, J. R. – *The Mathematics of Finite Elements and Applications*. John Wiley & Sons, New York, 1997, 1 – 33.
25. *Solving Large-scale problems in mechanics*. Ed. by Papadrakakis, M., John Wiley & Sons, New York, 1993.

26. Poole, E. L. – Knight, N. F. – Davis, D. D.: High-performance equation solvers and their impact on finite element analysis. *Int. J. for Num. Meth. Engng*, 1992, Vol 33, 855 – 868.
27. Brebbia, C. A. – Dominguez, J.: *Boundary Elements. An Introductory Course*. WIT Press, Southampton, 1996.
28. Belytschko, T. – Lu, Y. Y.: A variationally coupled FE-BE method for transient problems, *Int. J. for Num. Meth. Engng.*, 1994, Vol. 37, 91 – 105.
29. Kozák, I.: *KIMHER, Programrendszer héjak, lemezek és tárcsák forgásszimmetrikus feladataira, síkbeli tartókra*. Miskolci Egyetemi Könyvkiadó, Miskolc, 1994.
30. Zmitrowicz, A.: A thermodynamical model of contact, friction and wear, *Wear*, 1987, 114 (2), 135 – 168, 169 – 197, 199 – 221.
31. Páczelt, I.: *Calculation of Wear processes with p-version finite elements*, *Proceedings of VII-th International Conference Numerical Methods in Continuum Mechanics, October 6-9, 1998, High Tatras, Slovak Republic*. Ed. by Kompis, V. – Zmindak, M. – Hucko, B., University of Zilina, 107 – 112.
32. Preumont, A.: *Vibration control of active structures*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1997.
33. Tzou, H. S.: *Piezoelectric shells (Distributed sensing and control of continuum)*. Kluwer Academic Publishers, London, 1994.
34. Anderson, T. L.: *Fracture mechanics, Fundamentals and applications*. CRC Press, London, 1995.
35. Jones, R. M.: *Mechanics of composite materials*. Taylor & Francis, 1975.
36. Guz, A. N. – Tomasevskij, V. T.: *Tehnologicseszkije naprazsenija i deformacii v kompozitnii materialah*. Vücsa skola, Kiev, 1988.
37. Crain, L. M.: *Virtual manufacturing. The next revolution in global manufacturing*. MARC Analysis Research Corporation, Palo Alto, 1996.
38. Cinquini, C. – Rovati, M.: Optimization methods in (structural) engineering, *Eur. J. Mech. A/Solids*, 1995, 14, No. 3, 413 – 437.
39. *Proceedings of the Second World Congress of Structural and Multidisciplinary Optimization, May 26-30, 1997, Zakopane*, Ed. by Gutkowski, W. – Mróz, Z., IPPT PAN, Vol. 1, Vol. 2., 1997.
40. Ambarcumjan, Sz. A.: *Obcaja teorija anizotropnih obolosek*. Nauka, Moszkva, 1974.
41. Christensen, R. M.: *Mechanics of composite materials*. John Wiley & Sons, New York, 1979.
42. Malmejszter, A. K. – Tamuzs, V. P. – Tetersz, G. A.: *Szoprotoivlenie polimerniuk i kompoziniuk materialov*. 3. izd. Zinatne, Riga, 1980.
43. Herakovich, C. T.: *Mechanics of fibrous composites*. John Wiley & Sons, New York, 1998.
44. Banicsuk, N. V. – Kobelev, V. V. – Rikardsz, R. B.: *Optimizacija elementov kompozicionniuk materialov*. Masinosztroenije, Moszkva, 1988.
45. Jianting, R. – Yang, Q.: *Vibration control of elastic linkage mechanisms using piezoelectronic actuators/sensors*, *Proceedings of Int. Conf. on Mechanical Transmissions and Mechanisms (MTM'97)*, July 1 – 4, 1997, Tianjin, China. China Machine Press, Beijing, China, 1997, 346 – 349.
46. Shabana A. A.: *Dynamics of multibody Systems*. Cambridge University Press, 1998.
47. Cook, R. D. – Malkus, D. S. – Plesha, M. E.: *Concepts and applications of the finite element analysis*. John Wiley & Sons, Inc., 1989.
48. Reddy, J. N.: *An introduction to the finite element method*. 2-nd edition, McGraw-Hill, Inc., New York, 1993.
49. Reddy, J. N. – Gartling, D. K.: *The finite element method in heat transfer and fluid dynamics*. CRC Press, London, 1994.
50. Páczelt, I.: *Végeselem-módszer a mérnöki gyakorlatban I. rész*. Miskolci Egyetemi Kiadó, Miskolc, 1999.
51. Maugin, G. A.: *The thermomechanics of plasticity and fracture*. Cambridge University Press, 1992.
52. Lemaitre, J. L. – Chaboche, J. L.: *Mechanics of solid materials*. Cambridge University Press, 1994.
53. Pilkey, W. D. – Wunderlich, W.: *Mechanics of structures, Variational and computational methods*. CRC Press, 1994.
54. Gibson, R. F.: *Principles of composite material mechanics*. McGraw-Hill, Inc., New York, 1994.
55. Simo, J. C. – Hughes, T. J. R.: *Computational inelasticity*. Springer Verlag, Berlin, 1998.
56. Bonet, J. – Wood, R. D.: *Nonlinear continuum mechanics for finite element analysis*. Cambridge University Press, 1999.

STÉPÁN GÁBOR

Számítógéppel szabályozott gépek dinamikája

Bevezetés

Az úgynevezett pozíció- és erőszabályozás megszokott feladat mechanikai rendszerek esetében, különösen a robotikában. Amikor pedig mechanikai rendszerek instabil egyensúlyi helyzetait próbáljuk szabályozással stabilizálni, a feladatot ismét tekinthetjük pozíció- vagy erőszabályozásnak, csupán negatív merevség vagy negatív csillapítás jelenlétében. Az 1 és 2 szabadsági fokú egyszerű mechanikai modelleknek központi szerepe van az ilyen rendszerekben fellépő dinamikai jelenségek megértésében, a műszaki érzék és szemlélet fejlesztésében, melyet azután a tervezői munka során hasznosítunk.

Ebben a munkában olyan kutatási eredményekről számolunk be, amelyek egyszerű, zárt alakú képleteket szolgáltatnak az alapvető mechanikai és szabályozási paraméterek, mint a például a sajátfrekvenciák, mintavételezési idő és erősítési tényezők terében. Az említett rendszerek fizikai megvalósításuk, legyártásuk után gyakran rosszabb dinamikai tulajdonságokat mutatnak a vártnál, a hagyományos módszerekkel tervezettnél. Ennek az időre vonatkozó kvantálás, azaz a mintavételezés mellett egy másik digitális hatás, a térbeli kvantálás, azaz a kerekítés lehet az oka. Ez utóbbi ugyanis egy olyan lokálisan is erős nemlinearitás, ami gyakran kis amplitúdójú sztochasztikus rezgéseket eredményez például robotok előírt helyzetei, mozgásai körül.

A digitális hatások sok esetben kényszerítenek bennünket arra, hogy újragondoljuk rendszereink viselkedését. Ilyen példa az a tréfás feladvány is, amely Lewis Carrolltól, az *Alice csodaországban* [0] című mesekönyv szerzőjétől származik. Arra a kérdésre, hogy melyik óra a pontosabb: amelyik áll, vagy amelyik napjában egy másodpercet siet, a meglepő válasz az volt, hogy amelyik áll, mert az napjában kétszer mutatja a pontos időt, míg a siető nem. A feladat még az analóg órák korában készült, és manapság a digitális, kissé siető óra napjában nagyon sokszor is mutathatja a pontos időt, hiszen másodpercenként jelezve az időt olyan, mintha egy-egy másodpercig álló óra lenne.

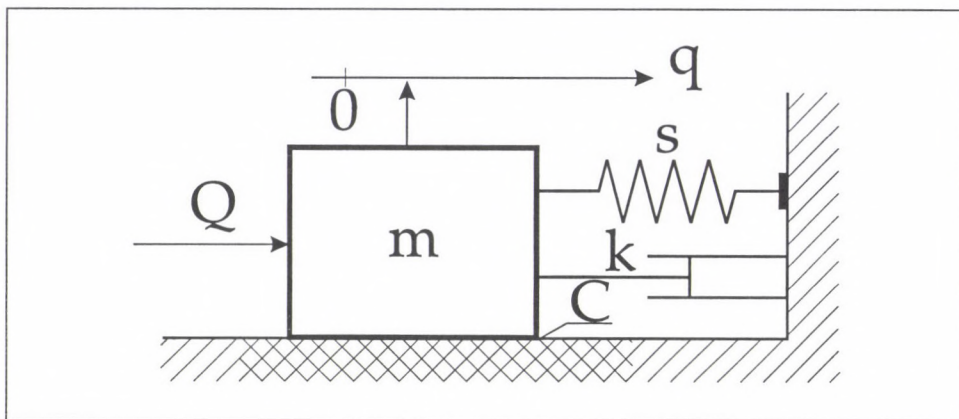
Az alábbiakban azokat a vizsgálatokat és eredményeket foglaljuk röviden össze, amelyek a digitálisan szabályozott gépek esetében azok dinamikai viselkedését, stabilitásvesztését, kis frekvenciájú öngerjesztett rezgéseit, illetve kaotikus mozgásait írják le.

Mechanikai modell

A szakirodalomban szereplő alapvető könyvek és folyóiratcikkek (például [1,2,3,4]) gyakran utalnak arra, hogy mechanikai szerkezeteink, például robotok szabályozása esetén a szabályozó rendszerben fellépő digitális hatások destabilizálóak lehetnek. Minden ehhez kapcsolódó rezgési jelenséget matematikai pontossággal, analitikus formában is le tudunk azonban írni a legegyszerűbb, egy szabadsági fokú mechanikai modellen. Ezt a modellt az 1. ábra mutatja, ahol az s merevségű rugalmas elemet és a C Coulomb-féle száraz súrlódást is figyelembe vesszük. A szabályozóerőt Q jelöli, a rendszert leíró skaláris általános koordináta q . A mozgásegyenletet a k csillapítású viszkózus elem jelenlétében

$$m\ddot{q}(t) + k\dot{q}(t) + C \operatorname{sgn}(\dot{q}(t)) + sq(t) = Q(t).$$

Három különböző esetet tárgyalunk: 1. pozíciósabályozás, amikor a merevség és a viszkózus csillapítás zérus; 2. erőszabályozás, amikor a merevség pozitív; 3. stabilizálás (vagy egyensúlyozás), amikor a szabályozatlan mechanikai rendszer instabil, azaz a merevség vagy a csillapítás negatív. Az utóbbi esetre az inverz inga (negatív merevség) vagy az akadozó csúszás (negatív csillapítás) hozható fel mint közismert mechanikai példa.



1. ábra. Mechanikai modell

A legegyszerűbb PD-szabályozás esetén a szabályozóerő alakja

$$Q = -K_p(q - q_0) - K_d\dot{q},$$

ahol a K_p , K_d szabályozási paraméterek megfelelő választása esetén a q_0 előírt pozíció aszimptotikusan stabilis lesz. Ha nincsenek digitális hatások, és nincs száraz súrlódás, lényegében minden pozitív paraméter megfelelő az egy szabadsági fokú rendszerek esetén.

Pozíciószabályozás

A száraz súrlódás csökkenti a robot pozicionálási pontosságát. Ez a pontosság a

$$\Delta = \frac{C}{K_p}$$

képlettel jellemezhető. Nyilvánvaló, hogy ezen a pozicionálási pontosságon javítani lehet a K_p proporcionális tényező növelésével, azaz pusztán ebből a szempontból abban vagyunk érdekeltek, hogy K_p olyan nagy legyen, amekkora csak műszakilag megvalósítható.

A szabályozóerő számítása azonban az érzékelt pozíció- és sebességjeleknek csupán a t_j időpillanatokban vett mintavételezett értékeivel történik:

$$Q(t) = -K_p q(t_j - \tau) - K_d \dot{q}(t_j - \tau), \quad t \in (t_j, t_j + \tau),$$

azaz a szabályozóerő szakaszonként folytonos. A megkövetelt pozíciót az általánosság megszorítása nélkül zérusnak választottuk. Ahogy ezt a [7] cikkünkben kimutattuk, az ezzel a szabályozóerővel adódó mozgásegyenletet minden egyes mintavételezési intervallumra a szakaszonként konstans inhomogenitású differenciálegyenlettel zárt alakban megoldhatjuk. Ez a megoldás egy háromdimenziós diszkrét leképezésre vezet, melynek stabilitási vizsgálata úgy végezhető el, mintha egy többdimenziós geometriai sor konvergenciáját vizsgálnánk (lásd [5]). A számítások ismét elvégezhetők zárt alakban, és ezek eredménye a

$$p = \frac{K_p}{m} \tau^2, \quad d = \frac{K_d}{m} \tau^2$$

paraméterekre azt mutatja, hogy a $q_0 \equiv 0$ helyzet aszimptotikusan stabilis akkor és csak akkor, ha

$$0 < p < 2d - 3 + \sqrt{9 - 8d}.$$

Egyszerű szélsőérték-számítással kimutathatjuk, hogy az arányos erősítési tényező legnagyobb értéke a stabilitás határán belül

$$p_{\max} = \frac{1}{4},$$

ami azt jelenti, hogy a legkisebb pozicionálási hiba értéke a

$$\Delta_{\min} = 4\tau^2 \frac{C}{m}$$

képlet szerint a mintavételezési idő négyzetével és a száraz súrlódással arányos, míg a tehetetlenséggel fordított arányban áll.

Erőszabályozás

Ebben az esetben a szabályozóerő [2] ajánlását követve a következő alakot ölti:

$$Q(t) = -K_p(F_s - F_0) - K_d\dot{F}_s + F_0.$$

Az F_s kontakt erőt a rugó q deformációján keresztül mérjük, az előírt érintkezési erő pedig F_0 . A statikus erőhiba az előzőekhez hasonlóan számolható a Coulomb-súrlódóerőből mint a merevség és a pozicionálási hiba szorzata, figyelembe véve azt is, hogy az előírt pozíció most nem a zérus, hanem $q_0 = F_0/s$:

$$\Delta F = \frac{C}{1 + K_p},$$

azaz ismét minél nagyobb erősítési tényező alkalmazásában vagyunk érdekeltek.

A Coulomb-súrlódás elhanyagolása mellett az egyensúlyi helyzet stabilitását a $p = K_p$, $d = \alpha K_d$ dimenziótlan erősítési tényezőkre a $T = \alpha t$ dimenziótlan idő bevezetésével vizsgálhatjuk, ahol

$$\alpha = \sqrt{s/m}$$

a szabályozatlan rendszer saját-körfrekvenciája. Ha az

$$x = \text{col}(x_1 \ x_2 \ x_3) = \text{col}(m\alpha\dot{q} \ m\alpha^2(q - q_0) \ Q - sq_0)$$

állapotvektort vezetjük be, akkor a mozgásegyenlet, az egyszerűség kedvéért $k = 0$ csillapítást tekintve, a következő alakra írható át

$$\frac{d}{dT} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & -1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix}, \quad x_3(T) = -px_2(T_{j-1}) - dx_1(T_{j-1}) \quad T \in [T_j, T_{j+1}),$$

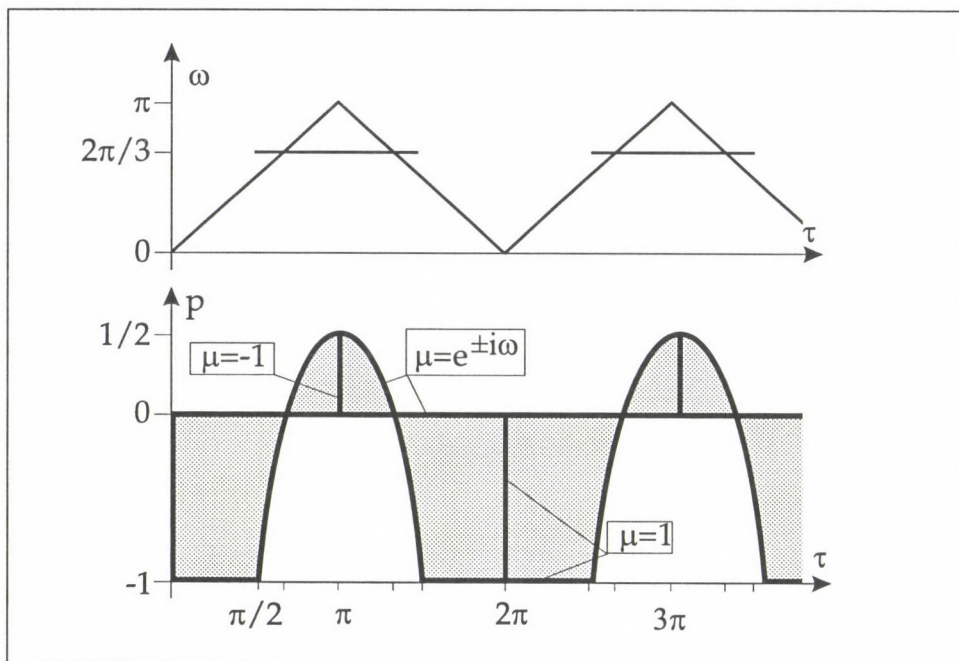
ahol ismét figyelembe vettük a mintavételezés hatását, a T_j , $j = 0, 1, \dots$ mintavételezési időpillanatokat, és $\tau = T_j - T_{j-1}$ jelöli a dimenziótlan mintavételezési időt. A fenti egyenlet a szakaszonként konstans szabályozás mellett szakaszonként megoldható. Ezzel a megoldással az alábbi háromdimenziós diszkrét leképezést állíthatjuk össze:

$$x(T_{j+1}) = \begin{pmatrix} \cos \tau & -\sin \tau & \sin \tau \\ \sin \tau & \cos \tau & 1 - \cos \tau \\ -d & -p & 0 \end{pmatrix} x(T_j).$$

A triviális megoldás aszimptotikus stabilitását, azaz az itt szereplő háromdimenziós mértani sor konvergenciáját, az együttható mátrix karakterisztikus polinomjával vizsgálhatjuk:

$$\mu^3 - 2\mu^2 \cos \tau + \mu(p(1 - \cos \tau) + d \sin \tau + 1) + p(1 - \cos \tau) - d \sin \tau.$$

Ennek zérus helyeire, azaz a karakterisztikus multiplikátorokra a stabilitási feltételt Jury kritériumával [5] adhatjuk meg a p , d , τ paraméterek síkján. Ezt a stabilitási térképet $d = 0$ esetén mutatja a 2. ábra, melyen feltüntettük a stabilitásvesztéskor jelentkező rezgések ω körfrekvenciáit is. Ezek a frekvenciák sokkal kisebbek lehetnek, mint a mintavételezési frekvencia, de legfeljebb is csupán a fele lehet annak.

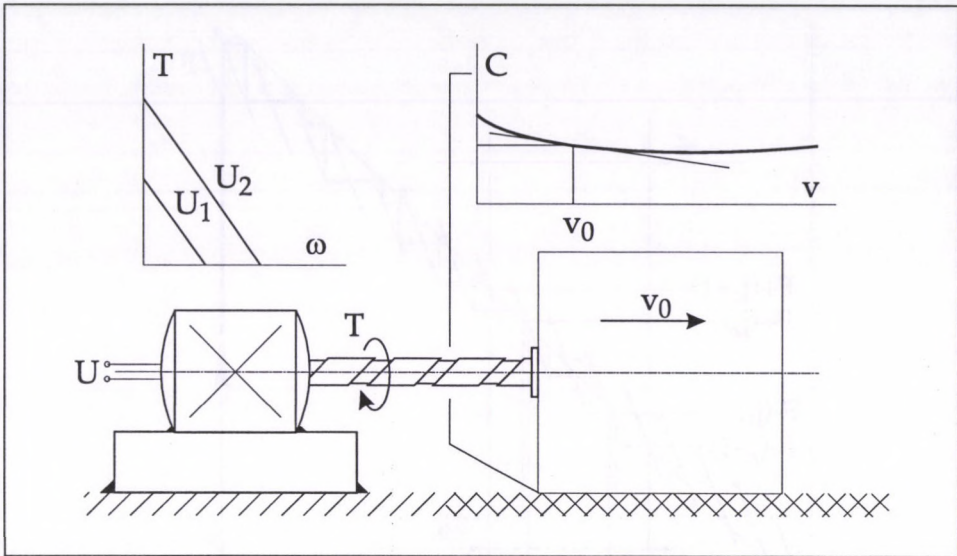


2. ábra. Stabilitási térkép erőszabályozás esetére

Az ábráról leolvasható az is, hogy az erősítési tényező legnagyobb értéke $1/2$, amit csak bizonyos sajátfrekvencia- és mintavételezésifrekvencia-arányok ($1/2$, $3/2, \dots$) esetén érhetünk el. Ez tehát azt jelenti, hogy amennyiben C száraz súrlódás van rendszerünkben, a legkisebb erőhiba is csak $2C/3$, azaz a súrlódási erő kétharmada lehet. Amennyiben d differenciális erősítési tényezőt is alkalmazunk, a számítás megismétlése azt mutatja, hogy csak nagyon kis mértékű javulás érhető el. A gyakorlatban nem is szokás használni erőszabályozás esetén. Jelentősebb javulást akkor érhetünk el, ha a rendszerben fizikailag jelenlévő viszkózus csillapítás értéke nagyobb.

Stabilizálás

Annak érdekében, hogy érzékeltezzük a digitális hatások szerepét mechanikai rendszerek egyensúlyi helyzeteinek vagy stacionárius mozgásainak stabilizálásában, tekintsük az akadozó csúszásnak mint legegyszerűbb ilyen jellegű mechanikai rendszernek a példáját. Jól tudjuk, hogy akadozó csúszás olyan rendszerekben lép fel, ahol a sebesség növekedésével a kombinált száraz és folyadékos



3. ábra. Szabályozott akadozó csúszás modellje

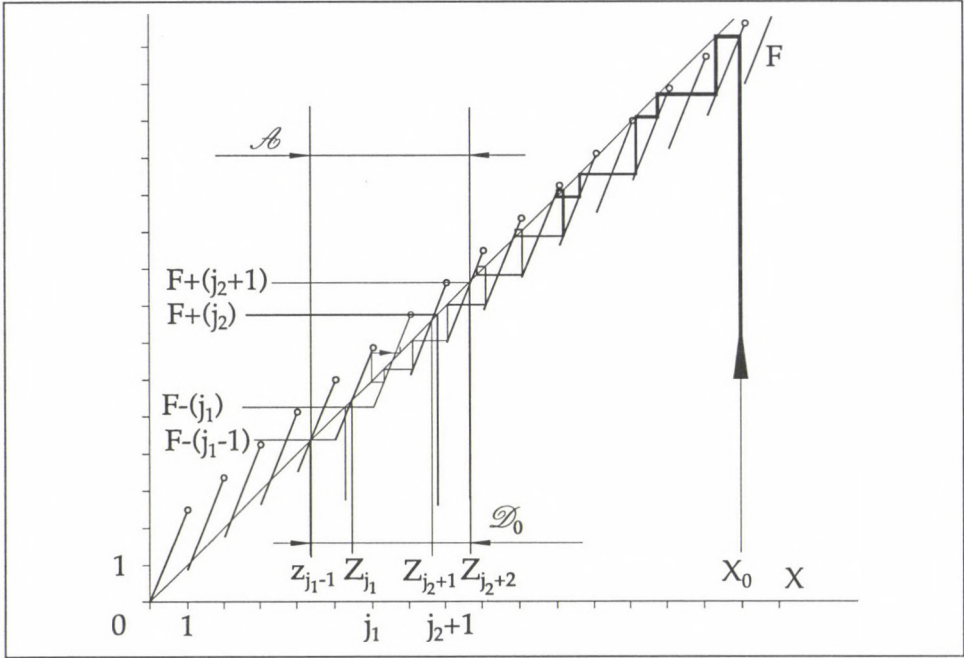
súrlódás, illetve csillapítás csökken. Ez a rendszerben $-k$ negatív csillapítást eredményez, ami – különösen a kis sebességű mozgások esetén – destabilizálja az állandó sebességű stacionárius mozgást. Ezt a negatív csillapítást egy a meghajtó egyenáramú motoron keresztül érvényesített szabályozással, mintegy $p > 0$ virtuális csillapítással ellensúlyozhatjuk.

Az említett mechanikai rendszer vázlata a 3. ábrán látható, a mozgásegyenletek alakja az előírt sebességhez képest adódó v eltérésre pedig a következő lesz:

$$\dot{v} - kv = -pv,$$

ahol $p > k$ esetén a rendszerben összességében pozitív csillapítás lesz, és a digitális hatások elhanyagolása esetén a triviális megoldás (azaz az állandó sebességű mozgás) aszimptotikusan stabilis.

Most azonban két digitális hatást is figyelembe veszünk: egyrészt a mintavételezést τ időközönként, másrészt az analóg-digitál átalakítók véges h felbontóképességét, azaz azt, hogy a mért sebességjelet csak a h egész számú többszöröse-



4. ábra. Kaotikus iteráció a mikrokósz-leképezésben

ként tudjuk megkapni. Ezek figyelembevételével a mozgásegyenlet pontosított alakja:

$$\dot{v}(t) - kv(t) = -ph \operatorname{int} \left(\frac{v(t_j)}{h} \right), \quad t \in [t_j, t_j + \tau),$$

ahol ismét az egyszerűbb kezelhetőség kedvéért az időkést nem, csupán a nul-ladrendű tartót modelleztük a mintavételezés kapcsán. Ez az elsőrendű differenciálegyenlet ismét megoldható szakaszonként, hiszen az inhomogenitási tag a mintavételezési idő-intervallumokban szakaszonként állandó. A megoldás alakja

$$v(t) = \left(v(t_j) - \frac{ph}{k} \operatorname{int} \left(\frac{v(t_j)}{h} \right) \right) e^{k(t-t_j)} + \frac{ph}{k} \operatorname{int} \left(\frac{v(t_j)}{h} \right),$$

amiből már $t = t_{j+1} = t_j + \tau$ helyettesítéssel egyszerűen következik az alábbi egydimenziós (azaz skaláris) diszkrét iteráció, melyet a megfelelően bevezetett $a > 1$ és $a-1 < b < a$ paraméterek bevezetése után a következő egyszerű alakra hozhatunk:

$$x_{j+1} = ax_j - b \operatorname{int} x_j.$$

Ezt a digitális stabilizálási feladatokban tipikus nemlineáris leképezést *mikrokáosz-leképezésnek* neveztük el. Az elnevezés arra kíván utalni, hogy az itt kialakuló iteráció – ahogy ezt a 4. ábra is szemlélteti – és az ennek megfelelő fizikai mozgás kis amplitúdójú és véletlenszerű lesz. Cikkünkben [10] pontos matematikai bizonyítást adtuk annak, hogy az ilyen típusú determinisztikus modellek tipikus stabilis mozgásai véletlenszerűek, pontosabban kaotikusak lesznek, míg a [11,12] publikációkban az ehhez kapcsolódó kísérleti munkáról is beszámoltunk.

Összefoglalás

Összefoglalóan elmondhatjuk, hogy az időbeli kvantálás, azaz a mintavételezés akár pozíció-, akár erőszabályozás, akár stabilizálási feladat esetén destabilizáló hatású, azaz korlátot jelent az erősítési tényezők növelésével szemben, és ilyen értelemben korlátozza az adott szerkezetben a száraz súrlódással szemben elérhető pontosságot. Amíg az időbeli kvantálás lineáris hatás, addig a térbeli kvantálás, az analóg-digitál átalakítókön fellépő kerekítés lokálisan erős nemlinearitás. Ez a hatás, kombinálódva a mintavételezéssel, stabilizálás esetén azt jelenti, hogy a megkövetelt egyensúlyi helyzet vagy mozgás valójában nem is lehet stabilis, körülötte kis amplitúdójú, véletlenszerű mozgás fog keletkezni. Ezt a mozgást a káoszelmélet módszereivel az úgynevezett mikrokáosz-leképezés esetén matematikailag is le tudjuk írni, jellemző paramétereit (Ljapunov-exponens, topológikus entrópia, fraktáldimenzió) meg tudjuk határozni. Az itt megfogalmazott elvek és módszerek alkalmazása jelentősen javíthatja, gyorsabbá és olcsóbbá teheti digitálisan szabályozott mechanikai rendszerek tervezését és fejlesztését.

*

Az ismertetett kutatásokat részben az Országos Tudományos Kutatási Alap T030762 számú, a Felsőoktatási Kutatási Fejlesztési Alap 0380/98 számú projektjei, illetve a Fulbright Bizottság ösztöndíja támogatta.

Irodalom

- [0] Carroll, L.: *Alice's Adventures in Wonderland*. William Morrow & Company, London, 1993.
- [1] Raibert, M. H., Craig, J. J.: Hybrid Position/Force Control for Computer Controlled Manipulators. *ASME J. Dynamic Systems, Measurement and Control*, 102, (1981), 125–133.
- [2] Craig, J. J.: *Introduction to Robotics Mechanics and Control*. Addison-Wisley, Reading, 1986.
- [3] Whitney, D. E.: Force feedback control of manipulator fine motions. *ASME Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control* (1977), 98, 91–97.
- [4] Whitney, D. E.: Historical perspective and state of the art in robot force control. *International Journal of Robotics Research* (1985), 6, 3–14.
- [5] Kuo, B. C.: *Digital Control Systems*. SRL Publishing Company, Champaign, Illinois, 1977.
- [6] Stépán, G., Steven, A., Maunder, L.: Dynamics of robots with digital force control. In *Proc. of CSME Mechanical Engineering Forum*, Toronto, June 3–8, 1990, Vol. III, 355–360.
- [7] Stépán, G., Steven A., Maunder, L.: Design principles of digitally controlled robots. *Mechanism and Machine Theory* (1990), 25, 515–527.
- [8] Stépán, G.: Stability of joy-stick controlled machines. *Nonlinear Vibration Problems* (1993), 25, 431–437.
- [9] Stépán, G.: Micro-chaos in digitally controlled mechanical systems. In *Nonlinearity and Chaos in Engineering Dynamics* (Eds.: J. M. T. Thompson and S. R. Bishop). John Wiley & Sons, Chichester, (1994), 143–154.
- [10] Haller, G., Stépán, G.: Micro-chaos in digital control. *Journal of Nonlinear Science*, (1996), 6, 415–448.
- [11] Stépán, G., Enikov, E., Haller, G.: Dynamics of digitally controlled machines. In *Interaction Between Vibration and Control in Advanced Mechanical Systems* (Ed.: D. H. van Campen). Solid Mechanics and Its Applications (SMIA) 52, Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, (1997), 391–398.
- [12] Enikov, E., Stépán, G.: Micro-chaotic motion of digitally controlled machines. *Journal of Vibration and Control*, (1998), 4, 427–443.

Hidromechanika a gépészeti áramlástechnikában

Az ipari kultúrának és korunk életmódjának alapja azon gépek elterjedése, amelyek az energiát – helyesebben a teljesítményt – szolgáltatják. Az ipari termelés, a közművek, a közlekedés, a kommunikáció eszközei – szóval a mindennapi életvitelünkben nem nélkülözhetők a mindenkor rendelkezésre álló teljesítményforrások, amelyeknek csak időleges hiánya tudatosítja fontosságukat. Gondoljunk csak például az áram- vagy vízszolgáltatás kimaradására.

E gépek a folyékony vagy gáz-halmazállapotú közeg energiatartalmát átalakító gépek – a gőz-, gáz-, víz- és légturbinák, a belső égésű motorok –, az erőgépek, amelyek a folyadék energiatartalmát mechanikaivá alakítják át. A fordított irányú átalakítást végző munkagépek: a szivattyúk, ventilátorok, kompresszorok, hajó- és légcavarok.

A fizikának a folyékony közeg mozgástörvényeivel foglalkozó ága a hidromechanika, amelynek alaptörvényeit alkalmazzuk, hogy a turbógépek működését megértsük, és azokat megfelelően alakítsuk.

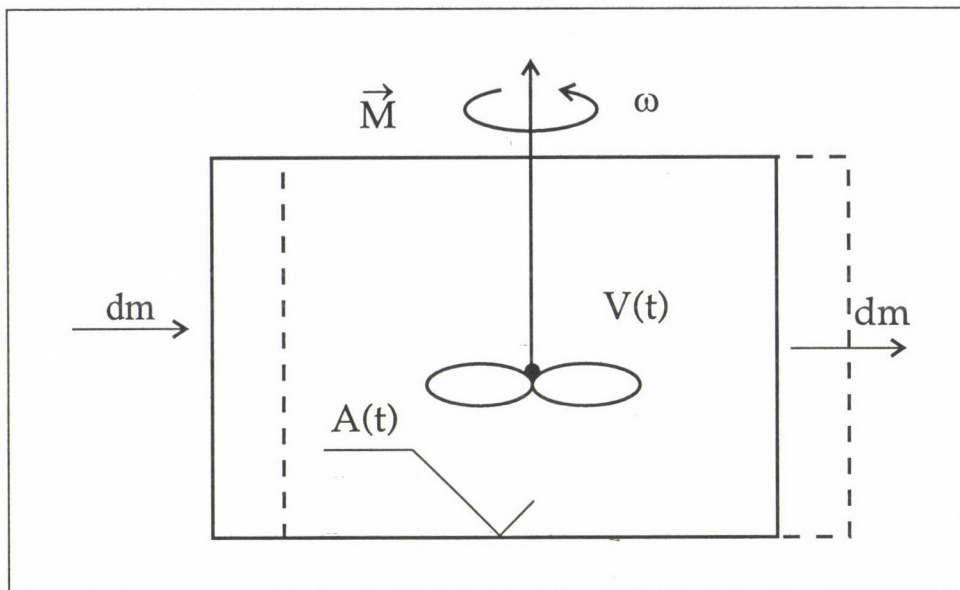
A tömegmegmaradást a kontinuitás egyenlete (1) fejezi ki. Az 1. ábrán lévő V térfogatban a folyadék ρ sűrűségének időbeli változása és a határoló A felületen történő be- és kiáramló tömeg összege nulla.

$$\int_{(V)} \frac{\partial \rho}{\partial t} dV + \int_{(A)} \rho(\vec{c} \cdot d\vec{A}) = 0 \quad (1)$$

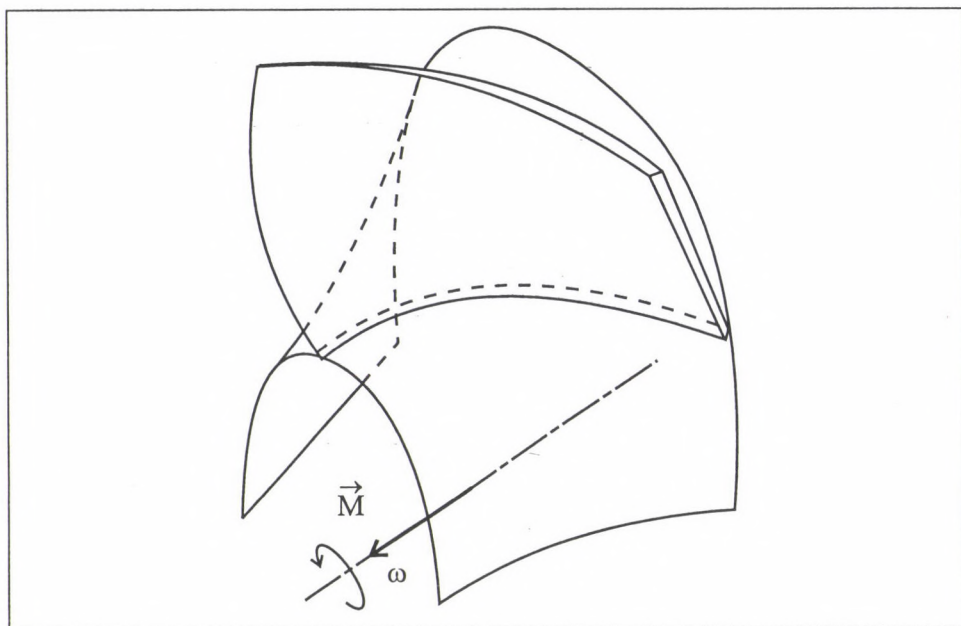
A folyékony közeg mozgásegyenletét integrál- és differenciálalakban írják le a következő egyenletek:

$$\int_{(V)} \rho \frac{d\vec{c}}{dt} dV = \int_{(V)} \vec{f} \rho dV - \int_{(A)} p d\vec{A} + \int_{(A)} \underline{\underline{\sigma}} \cdot d\vec{A} \quad (2a)$$

$$\frac{\partial \vec{c}}{\partial t} - \vec{c} \times \text{rot } \vec{c} = -\text{grad} \left(U + P + \frac{c^2}{2} \right) + \frac{1}{\rho} \text{Div } \underline{\underline{\sigma}}. \quad (2b)$$



1. ábra



2. ábra

Feltételezzük, hogy a tömegező potenciális és a folyadék barotróp, s így írhatjuk, hogy:

$$f = -\text{grad } U; \quad P = \int \frac{dp}{\rho}.$$

Mechanikai energiaegyenlet:

$$\begin{aligned} \int_{(V)} \frac{\partial}{\partial t} \left[\rho \left(\frac{c^2}{2} + U + P \right) \right] dV + \int_{(A)} \rho \left(\frac{c^2}{2} + U + P \right) (\vec{c} \cdot d\vec{A}) = \\ = \int_{(V)} \frac{\partial p}{\partial t} dV + \int_{(A)} \vec{c} (\underline{\underline{\sigma}} \cdot d\vec{A}) - \int_{(V)} \Phi_D dV. \end{aligned} \quad (3)$$

Ez az egyenlet azt fejezi ki, hogy a térfogatban létrejövő és az azon keresztülfolyó folyadék energiatartalmának változása egyenlő az instacionárius nyomásváltozás, a súrlódó erők felületi munkája és a viszkozitás okozta disszipált energia összegével.

A turbógép tengelyén jelentkező nyomaték és a járókeréken átáramló folyadék perdülete, azaz impulzusnyomatéka közti összefüggést a hidromechanika impulzusnyomatéki tétele alapján határozhatjuk meg (4).

$$\begin{aligned} \int_{(V)} \vec{r}_0 \times \frac{\partial}{\partial t} (\rho \vec{c}) dV + \int_{(A)} (\vec{r}_0 \times \vec{c}) \rho (\vec{c} \cdot d\vec{A}) = \\ = - \int_{(A)} p (\vec{r}_0 \times d\vec{A}) + \int_{(A)} \vec{r}_0 \times \underline{\underline{\sigma}} \cdot d\vec{A}. \end{aligned} \quad (4)$$

Az áramlástechnikai gépészet alapvető feladata és célja a járó- és vezetőkerekben végbemenő folyamatok megismerése, mivel ezekben a terekben történik az energiaváltozások zöme. Az áramlás jellemzőinek meghatározása két lépésben lehetséges:

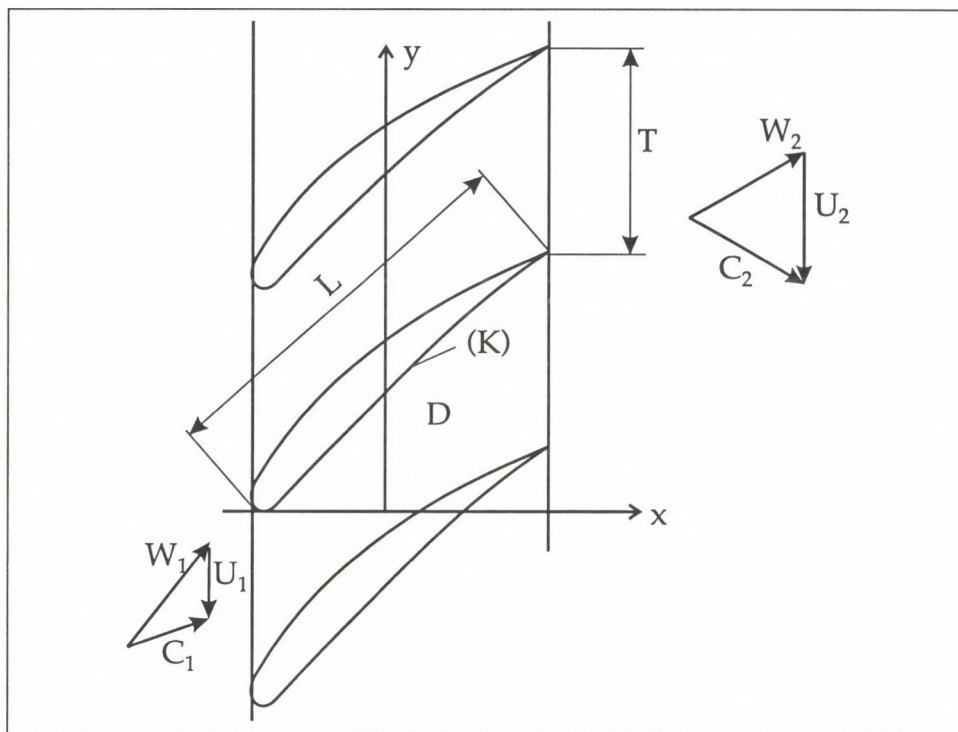
A) *Ideális közeget* tételezünk fel, azaz a súrlódási tenzort elhanyagoljuk:

$$\underline{\underline{\sigma}} = 0. \quad (2)$$

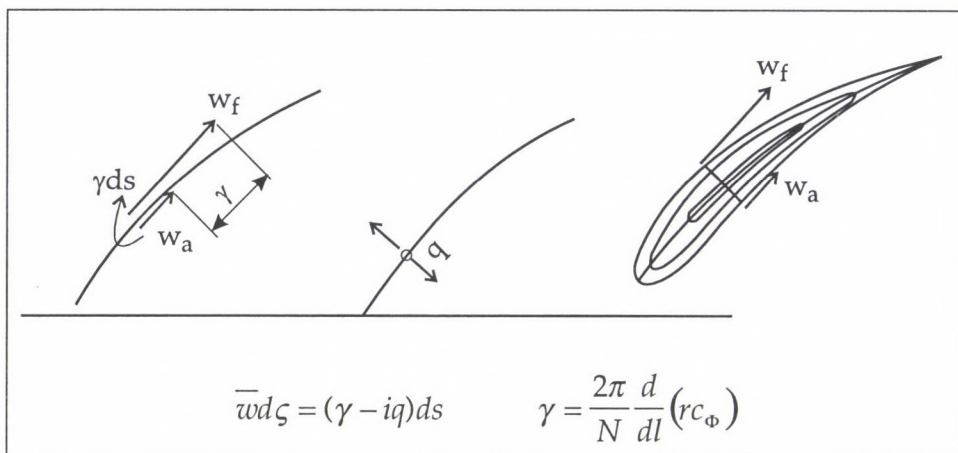
Ez a feltevés az áramlást határoló falak közvetlen közelétől eltekintve jogos és általánosan elfogadott.

B) A *súrlódás* hatását határozzuk meg az előbbi feltevéssel számított áramlásra.

Az A) esetben a folyadékmozgás kinematikája szolgáltatja a kiindulást. Örvénymentes áramlás esetén, vagyis, ha $\text{rot } \vec{c} = 0$, létezik olyan Φ sebességpotenciál-függ-



3. ábra



4. ábra. Hidrodinamikai szingularitás

vény, melynek gradiense a sebességvektor. A potenciálfüggvényre felírhatjuk a következő elliptikus másodrendű parciális differenciálegyenletet:

$$\Delta\Phi(x,y)=f\left(x,y,\frac{\partial\Phi}{\partial x},\frac{\partial\Phi}{\partial y}\right). \quad (5)$$

Az egyenlet a lapátrácsokra vonatkozó két főfeladat megoldásánál alkalmazható:

I) az előírt energia-, illetve perdületváltozást létrehozó lapátrács tervezésére;

II) az adott geometriájú lapátozás körüli sebességtér, majd a hidromechanika említett egyenletei alapján a nyomáseloszlás és egyéb jellemzők kiszámítására.

Az általános esetet jelentő félaxiális átömlésű járókerék egy meridiánáramfelületén végbemenő áramlás-integráltranszformációval síkrácsra képezhető le (3. ábra). Az (5) egyenlet peremfeltételei a következők:

A rááramlásnál:

$$\left.\frac{\partial\Phi}{\partial x}\right|_{x=-\infty}=c_{1x} \quad \left.\frac{\partial\Phi}{\partial y}\right|_{x=-\infty}=c_{1y},$$

a leáramlásnál:

$$\left.\frac{\partial\Phi}{\partial x}\right|_{x=\infty}=c_{2x} \quad \text{és} \quad \left.\frac{\partial\Phi}{\partial y}\right|_{x=\infty}=c_{2y}.$$

A pde. megoldása ekvivalens az alábbi sebesség komplex konjugáltjára vonatkozó, Cauchy típusú, szinguláris magú integrálegyenlet megoldásával:

$$\bar{c}(\zeta)=c_1+c_2+\frac{1}{i\pi}\int_{(K)}\bar{c}(\zeta')K(\zeta,\zeta')d\zeta'+\frac{1}{\pi}\iint_{(D)}\Delta\Phi(z')K(\zeta,z')dA,$$

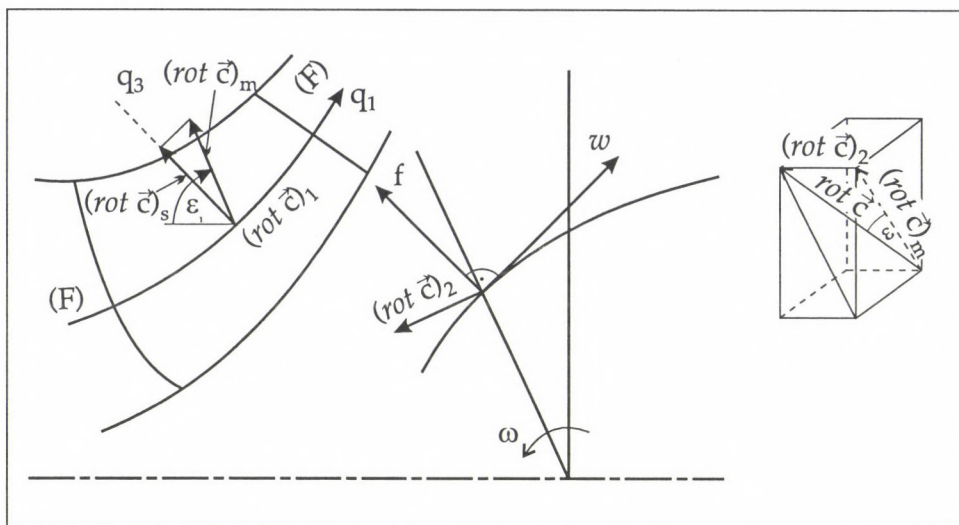
ahol

$$K(z,z')=\frac{\pi}{T}\text{cth}(z-z').$$

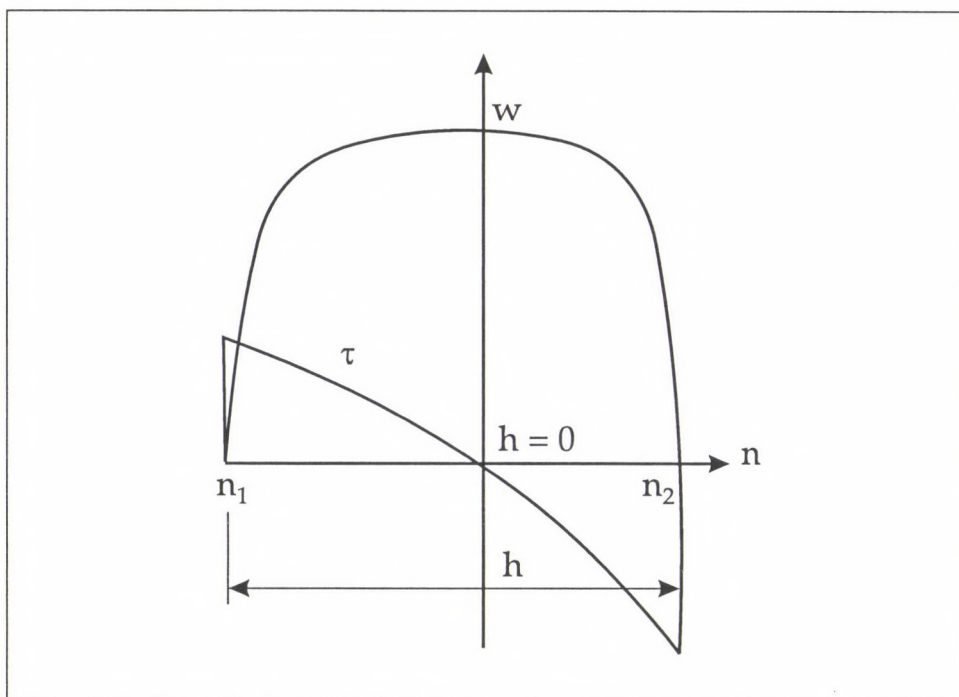
(6)

Az I) feladatnál meghatározandó a profil kontúrgörbéje az előírt \bar{c}_1 és \bar{c}_2 sebességek mellett. A kontúrgörbét előállíthatjuk a profil vázvonala menti érintő- és a rá merőleges irányú sebességugrások- a hidrodinamikai szingularitás-eloszlás függvényekkel.

A γ cirkulációeloszlás és a perdület lapát menti változása közti kapcsolat is látható a 4. ábrán.



5. ábra



6. ábra

A lapátozott teret meridián-áramvonalakkal osztjuk részcsatornákra. A meridiánsebesség Ψ áramfüggvényére vonatkozó (7) pde. megoldásából nyerjük ezeket a görbéket.

$$\Delta\Psi(q_1, q_3) = F[(\text{rot } \vec{c})_2] \quad (7)$$

A $\Psi =$ állandó görbék, az (F) felületek meridiángörbéi.

B) A *súrlódás hatása* esetében a relatív áramfelületeket a lapátfelületekkel kongruensnek tekintjük. E forgásszimmetrikus térben a lapátok a folyadékra kényszererőként hatnak. A kényszererő merőleges a felületre (minden kényszer súrlódásmentes):

$$\vec{f} \times \vec{n} = 0. \quad (8)$$

A súrlódás merőleges a kényszererőre:

$$\vec{f} \cdot (\underline{\underline{\sigma}} \cdot \vec{n}) = 0. \quad (9)$$

A relatív sebesség merőleges a kényszererőre:

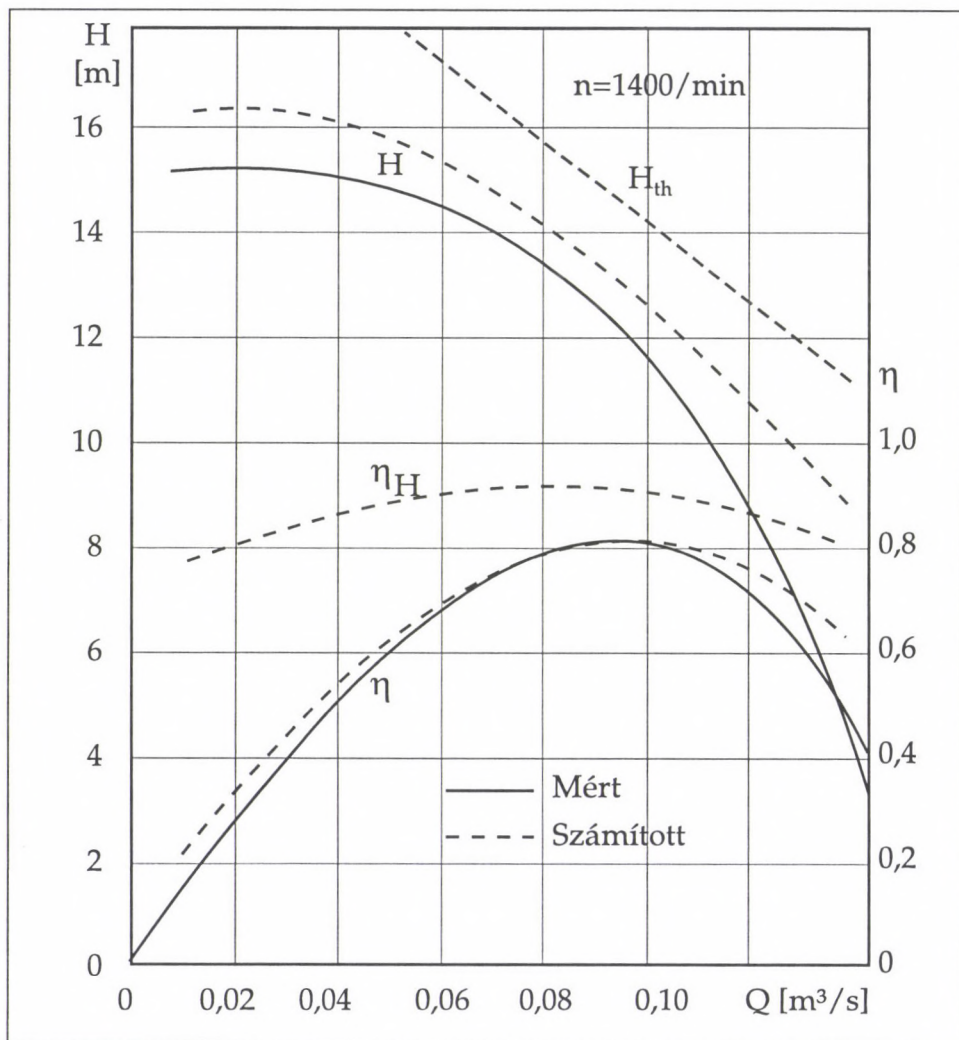
$$\vec{f} \cdot \vec{w} = 0. \quad (10)$$

Az örvényes abszolút sebességre felírt mozgásegyenletből levezethető összefüggést nyerünk a kényszererő kerületi komponense, a relatív sebesség meridiánkomponense és a perdületváltozás között:

$$f_2 = w_1 (\text{rot } \vec{c})_3 = \frac{w_m}{r} \frac{\partial}{\partial s} (rc_\varphi). \quad (11)$$

Mivel a relatív sebesség vektora és a súrlódó erő a $q_3 = \text{const.}$ felületbe esnek, és párhuzamosak, azért $w_3 = 0$, következésképpen a csúsztató feszültség és a relatív sebesség komponensei közti összefüggés:

$$w_3 = 0 \quad \Rightarrow \quad w_1 \tau_{23} - w_2 \tau_{13} = 0. \quad (12)$$



7. ábra

A viszkózus folyadékra a relatív rendszerre felírt mozgásegyenlet az előbbieken vázolt feltételek mellett a következő:

$$(\vec{w} \cdot \nabla) \vec{w} + 2\vec{\omega} \times \vec{w} = \vec{f} - \text{grad} \left(\frac{p}{\rho} - \frac{u^2}{2} \right) + \frac{1}{\rho} \text{Div } \underline{\underline{\sigma}}, \quad (13)$$

az energiaegyenlet pedig :

$$\bar{w} \cdot \text{grad} \left(\frac{p}{\rho} + \frac{w^2}{2} - \frac{u^2}{2} \right) = \frac{\bar{w}}{\rho} \text{Div} \underline{\underline{\sigma}}. \quad (14)$$

($\rho = \text{const.}$)

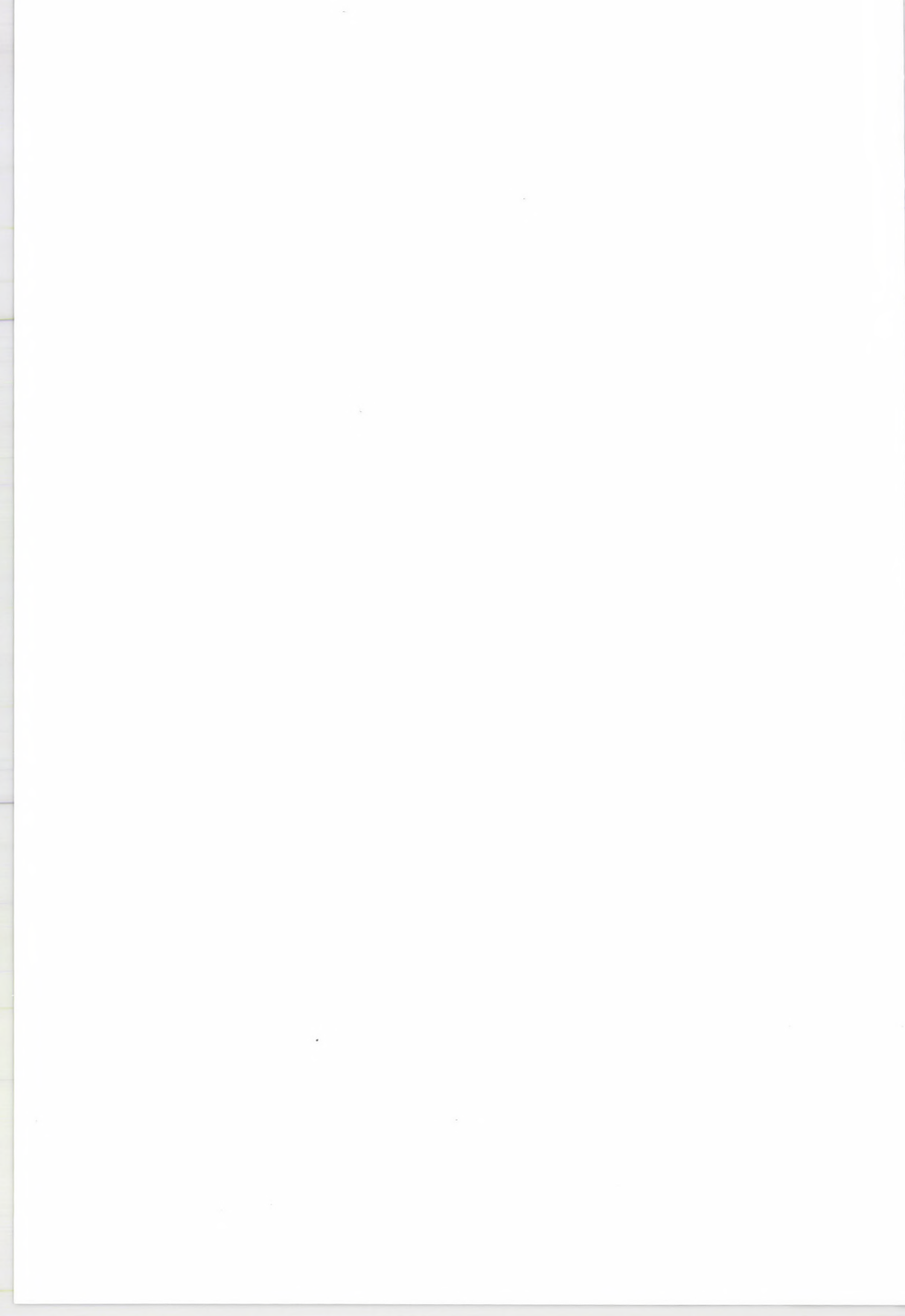
A vázolt összefüggések alapján kiszámítható a lapátok körüli nyomáseloszlás, a turbulens feszültségeloszlás q_3 mentén, az energiavesztés a lapátcsatornában – az abban változó Reynolds-számtól függően –, végül az áramlástechnikai gép jelleggörbéje.

A 6. ábrán egy rögzített q_1 koordinátához tartozó csúsztatófeszültség eloszlását látjuk az arra normális irányban.

Végül a 7. ábrán egy a leírt módszerrel tervezett szivattyú mért és számított jelleggörbéit láthatjuk. Megállapítható, hogy az egyezés kielégítő.

Irodalom

- [1] Czibere, T.: Berechnungsverfahren zum Entwurfe gerader Flügelgitter mit stark gewölbten Profilschaufeln, I, II. *Acta Technica Hung.*, 1960, XXVIII/1–2.
- [2] Nyíri, A.: Computation of the Meridional Flow Pattern of Hydraulic Machines. *Acta Technica Hung.*, 1964, Tom. 45.
- [3] Czibere T.: A hidrodinamikai rácselmélet két főfeladatának potenciálméleti megoldása. Akadémiai doktori értekezés, Miskolc, 1965.
- [4] Nyíri, A.: Determination of the Theoretical Characteristics of Hydraulic Machines, Based on Potential Theory. *Acta Technica Hung.*, 1970, Tom. 69.
- [5] Nyíri A.: Vízgépek lapátózott terére vonatkozó háromdimenziós potenciális áramlási feladat megoldása. Akadémiai doktori értekezés, Miskolc, 1990, 1–115.
- [6] Czibere, T.: Die Berechnung der turbulenten Strömung in den beschaufelten Räumen von Strömungsmaschinen. *Strömungsmaschinen Heft 1*, 1994, Braunschweig.
- [7] Czibere T., Nyíri, A.: *Computation of Pump Characteristics Based on Cascade Theory Proceedings of the Tenth Conference on Fluid Machinery*. Budapest, 1995.



KURUTZNÉ KOVÁCS MÁRTA

A nemlinearitás szerepe és vizsgálata a mechanikában

1. Bevezetés

A testek, szerkezetek mechanikai elemzésénél, a szerkezetek különféle terhek, illetve teherváltozások hatására bekövetkező állapotváltozásainak meghatározásánál, a numerikus megoldásnál fontos szerepe van az egyes állapotváltozók között fennálló nemlinearitásnak. A nemlinearitás a jelenségek természetes tulajdonsága, amelynek matematikai leírása, a numerikus modellalkotás során – a matematikai kezelhetőség érdekében – a legtöbbször lineáris közelítést alkalmazunk.

Egyszerű, egy lépésben nyerhető megoldást eredményez, ha minden relációban és a szerkezet állapotváltozás-vizsgálata során változatlan lineáris kapcsolatot tételezünk fel az egyes állapotváltozók között. Iterációs eljárást igényel, ha a nemlineáris viselkedést kis lépésenként lineáris összefüggésekkel közelítjük. Az iterációs megoldás alapja mindenkor a szerkezet érintő merevségi mátrixa, amely magában foglal mindenfajta nemlinearitást és linearizálási közelítést. Abban az esetben, ha a nemlineáris viselkedést leíró összefüggések között egyenlőtlenégi relációk is szerepelnek, a megoldás matematikai programozási feladatra vezet, amelynek alapja ugyancsak az érintő merevség.

Ebben az összefoglalóban az egyes nemlinearitási fajták érintő merevséget befolyásoló hatásával foglalkozom. Vizsgálatom a tartószerkezetek kvázi-statisztikus állapotváltozás-vizsgálatára korlátozódik, és a tipikus nemlinearitásokkal foglalkozik. Illusztrációként a Budapesti Műszaki Egyetem Tartószerkezetek Mechanikája Tanszéken folyó kutatások eredményeiből olyan alkalmazásokat mutatok be, amelyekben az egyes nemlinearitásoknak domináns szerepe van.

2. A nemlinearitás fő megjelenési formái

A következőkben a nemlinearitások négy fő megjelenési formájával foglalkozunk.

A legfontosabb, tipikus nemlinearitási forma a feszültségek és az alakváltozások közötti nemlineáris kapcsolat formájában leírható *anyag* nemlinearitás.

Az *alakváltozási nemlinearitás* az alakváltozások és az elmozdulásgradiensek közötti nemlineáris kapcsolatra vonatkozik. Az *elmozdulási nemlinearitás* a numerikus megoldási szakaszban jut szerephez: az elmozdulások és a választott véges számú elmozdulás-paraméter közötti összefüggésre vonatkozik. Végül a *terhelési nemlinearitás* az úgynevezett elmozdulásfüggő terhelés esetén fordul elő, amikor a konzervatív erőteher nem független a szerkezet elmozdulásaitól, és egy nemlineáris függvény formájában van megadva.

Vegyük sorba az egyes nemlinearitási eseteket.

2.1. Az anyagi nemlinearitás

Az anyagi viselkedéssel fenomenológiai megközelítésben foglalkozunk. Ezen belül a nemlineáris feszültség-alakváltozás összefüggést többféle mellékhatás és azok kombinációja is befolyásolhatja.

Inhomogén anyagok esetén az anyagi viselkedés a test különböző pontjaiban egymástól eltérő.

Az *iránytól függő anyagok* esetén az anyagi viselkedés lehet azonos a test minden pontjában, azonban az egyes pontokban az irányoktól függően más és más. Ez az anizotrópia.

Irreverzibilisnek nevezzük azokat az anyagokat, amelyek a tehermentesítés során nem a terhelési diagram függvényét követik. Idetartozik a képlékeny anyagok nagy családja.

A *hőmérséklettől függő anyagok* esetén a szilárdságtani tulajdonságokat a test egyes pontjaiban uralkodó hőmérséklet befolyásolja.

Az *időtől függő anyagok* esetén egyrészt az anyag ellenállása függhet a terhelés sebességétől, másrészt az alakváltozások a terhelést követően késleltetve alakulhatnak ki. Az ily módon, az alakváltozások és feszültségek sebességére érzékenyen viselkedő anyagokat nevezzük viszkózusnak.

A *terhelési úttól függő anyagok* esetén a viselkedést a terhelési folyamat és a megelőző terhek is befolyásolják. Ilyenek az emlékező anyagok.

Az utóbbi években egyre nagyobb érdeklődés kíséri az úgynevezett *nemsima anyagokat*, amelyek viselkedése rendszerint fűrészfogas diagrammal jellemezhető.

A fentiekén kívül természetesen még további körülmények is befolyásolhatják az anyagok viselkedését. Fontos azonban leszögezni, hogy mindezen jelenségek általában nem elszigetelten, hanem kombinációban, halmozottan fordulnak elő, ami lényegesen megnehezíti a numerikus vizsgálatot.

2.2. Az alakváltozási nemlinearitás

Az alakváltozási nemlinearitást az elemzés analitikus szakaszában az alakváltozás-tenzor elmozdulás-gradiensek függvényében felírt formája fejezi ki. A nemlineáris alakváltozás-tenzor megszokott alakja

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} (u_{i,j} + u_{j,i} + u_{k,i} u_{k,j}), \quad (2.1)$$

míg a lineáris alakváltozásokból eltűnik az elmozdulás-gradiensek kvadratikus tagja, azaz:

$$\varepsilon_{i,j} = \frac{1}{2} (u_{i,j} + u_{j,i}). \quad (2.2)$$

A megoldás numerikus fázisában a nemlineáris alakváltozások a

$$\underset{(6)}{\boldsymbol{\varepsilon}} = \underset{(6)}{\boldsymbol{\varepsilon}}(\mathbf{u}) = \underset{(6,3)}{\mathbf{A}} \underset{(3)}{\mathbf{u}} + \frac{1}{2} \underset{(3)}{\mathbf{u}}^T \underset{(3,6,3)}{\mathbf{G}} \underset{(3)}{\mathbf{u}} \quad (2.3)$$

alakban, míg a lineáris alakváltozások a

$$\underset{(6)}{\boldsymbol{\varepsilon}} = \underset{(6)}{\boldsymbol{\varepsilon}}(\mathbf{u}) = \underset{(6,3)}{\mathbf{A}} \underset{(3)}{\mathbf{u}} \quad (2.4)$$

formában írhatók fel, ahol a feszültségek és az alakváltozások tenzorai egy-egy hatdimenziós vektorba vannak rendezve, így az \mathbf{A} és \mathbf{G} geometriai differenciál-operátor mátrixok két- és háromdimenziós alakzatot alkotnak, amelyek a geometriai tér \mathbf{X} koordinátái szerinti deriválást jelölik ki. Bármely kifejezésben a \mathbf{G} háromdimenziós mátrix az alakváltozási nemlinearitás jelenlétére utal.

2.3. Az elmozdulási nemlinearitás

Az elmozdulási nemlinearitás csak a numerikus fázisban jelenik meg, mivel az elmozdulásfüggvény elmozdulás-paraméterekben kifejezett nemlinearitását jelenti. Tekintsük az elmozdulásfüggvényt az alábbi alakban:

$$\underset{(3)}{\mathbf{u}} = \underset{(3)}{\mathbf{u}}(\mathbf{X}, \mathbf{q}) = \begin{bmatrix} u_1(\mathbf{X}, \mathbf{q}) \\ u_2(\mathbf{X}, \mathbf{q}) \\ u_3(\mathbf{X}, \mathbf{q}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_1(X_1, X_2, X_3; q_1, q_2, \dots, q_r) \\ u_2(X_1, X_2, X_3; q_1, q_2, \dots, q_r) \\ u_3(X_1, X_2, X_3; q_1, q_2, \dots, q_r) \end{bmatrix}, \quad (2.5)$$

amely egyaránt függvénye a *geometriai tér* \mathbf{X} koordinátáinak és a *függvénytér* \mathbf{q} koordinátáinak, mely utóbbiak az elmozdulás-paraméterek. E paramétereket a numerikus analízisben – a függvénytérre utalva – általánosított koordinátáknak szokták nevezni.

Elmozdulási linearitás esetén az \mathbf{X} geometriai térbeli és a \mathbf{q} függvénytérbeli koordináták szétválaszthatók az alábbi lineáris kombináció alakjában:

$$\underset{(3)}{\mathbf{u}}(\mathbf{X}, \mathbf{q}) = \underset{(3,r)}{\mathbf{N}}(\mathbf{X}) \underset{(r)}{\mathbf{q}}, \quad (2.6)$$

amely a végeelem-módszer alapösszefüggését adja, ahol $\mathbf{N}(\mathbf{X})$ a bázisfüggvények mátrixa és \mathbf{q} a csomóponti elmozdulások vektora az elem vonatkozásában.

Elmozdulási nemlinearitás esetén a geometriai és a függvénytérbeli koordináták szétválasztása nem hajtható végre, ezért a lineáris kombináció csupán a növekményekre alkalmazható, egy adott rögzített állapotra, például az n -edik egyensúlyi konfigurációra vonatkozóan:

$$\underset{(3)}{d\mathbf{u}} = \left. \frac{\partial \underset{(3)}{\mathbf{u}}(\mathbf{X}, \mathbf{q})}{\partial q_j} \right|_n dq_j = \underset{(3,r)}{\mathbf{H}}(\mathbf{X}, \mathbf{q}_n) \underset{(r)}{d\mathbf{q}} \quad (2.7)$$

amely kiegészülhet a nemlineáris elmozdulásoknál el nem tűnő másodrendű növekménnyel:

$$\underset{(3)}{d^2\mathbf{u}} = \frac{1}{2} \frac{\partial^2 \underset{(3)}{\mathbf{u}}(\mathbf{X}, \mathbf{q})}{\partial q_j \partial q_k} \Big|_n dq_j dq_k = \frac{1}{2} \underset{(r)}{d} \underset{(r)}{\mathbf{q}}^T \underset{(r,3,r)}{\mathbf{W}}(\mathbf{X}, \mathbf{q}_n) \underset{(r)}{d\mathbf{q}}, \quad (2.8)$$

ahol \mathbf{W} a geometriai nemlinearitás jelenlétére utaló háromdimenziós mátrix.

Halmazott geometriai – alakváltozási és elmozdulási – nemlinearitás esete áll elő, ha nemlineáris alakváltozásokat nemlineáris elmozdulásokból számolunk, azaz az összetett függvényben mind az $\mathbf{u} = \mathbf{u}(\mathbf{q})$, mind az $\boldsymbol{\varepsilon} = \boldsymbol{\varepsilon}(\mathbf{u})$ függvényt nemlineárisnak tekintjük. Természetesen bármely linearitási kombináció, azaz nemlineáris $\boldsymbol{\varepsilon}$ nemlineáris \mathbf{u} -val, nemlineáris $\boldsymbol{\varepsilon}$ lineáris \mathbf{u} -val, lineáris $\boldsymbol{\varepsilon}$ nemlineáris \mathbf{u} -val, végül lineáris $\boldsymbol{\varepsilon}$ lineáris \mathbf{u} -val egyaránt alkalmazható.

2.4. A teher nemlinearitása

Bazant és Cedolin (1991) vagy Petryk (1993) foglalkozik az úgynevezett elmozdulás-függő teher fogalmával és természetrajzával. Petryk (1993) megadja a potenciálfüggvényt is, amely az efféle teherhez rendelhető, miáltal annak konzervatív jellege biztosított. Ilyen terhelésnek lehet tekinteni például azt a gyakori esetet, amikor a szerkezet deformációi bizonyos mértékben visszahatnak a hidraulikus sajtó útján közvetített teherre.

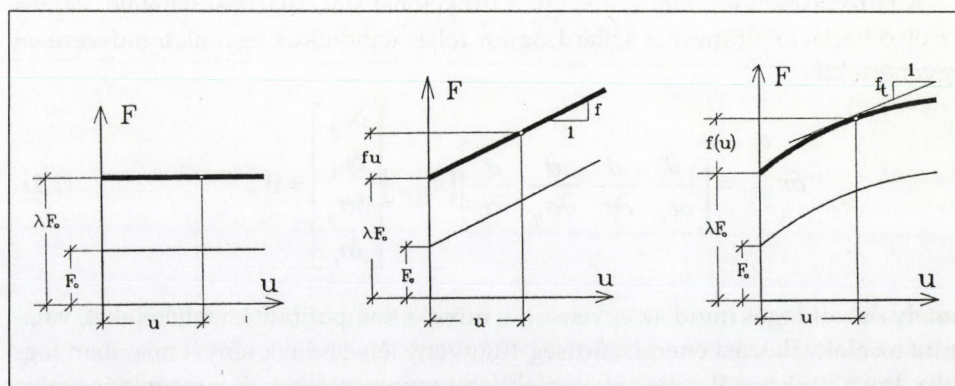
Az. 1. ábrán a klasszikus „dead load”, valamint a lineáris és nemlineáris elmozdulásfüggő teher diagramjait tüntettük fel. Az elmozdulásfüggő teher függvénye két részből tevődik össze:

$$F = \lambda F_0 + f(u), \quad (2.9)$$

amelyben $F = \lambda F_0$ a λ teherparaméterrel szabályzott klasszikus teherrész, míg $f(u)$ az elmozdulás-függő teher-rész. A terhelési folyamat során λ változik, míg az $f(u)$ teherrész változatlan formában tolódik el a λ által meghatározott mértékben. Megjegyezzük, hogy az elmozdulásfüggő erőteherhez hasonló módon annak duális változatát, az erőfüggő elmozdulásterhet is definiálhatjuk:

$$V = \mu V_0 + v(r) \quad (2.10)$$

a v elmozdulásterhek és az r reakcióerők viszonylatában, ahol μ az elmozdulásterher teherparamétere.



1. ábra. Az elmozdulásfüggő teher

3. A nemlinearitás szerepének áttekintése a Hu-Washizu-féle variációs elv alapján

Az egyes nemlinearitás-fajták szerkezeti állapotváltozásra gyakorolt hatásának egységes elemzése érdekében a legáltalánosabb variációs elvet, a Hu-Washizu-féle elvet hívjuk segítségül Washizu (1968) munkája nyomán.

A Lagrange-szorozók módszerével konstruált Hu-Washizu-féle négymezős funkcionál minden mező- és peremfeltételt magában hordoz, vagyis a rugalmasságtan teljes differenciálegyenlet-rendszerét és peremfeltételeit tartalmazza. Más szóval a Hu-Washizu-funkcionál a rugalmasságtani peremérték-feladat operátoros felírása helyett annak egyenértékű variációs megfogalmazását adja:

$$\begin{aligned} \pi_{HW}(\varepsilon_{ij}, u_i, \sigma_{ij}, r_i) = & \\ = \int_{V_0} W(\varepsilon_{ij}) dV - \int_V (\lambda F_{i0} + f_i(u_j)) u_i dV - \int_{S_{p0}} (\lambda P_{i0} + p_i(u_j)) u_i dS - & \\ - \int_{V_0} \left(\varepsilon_{ij} - \frac{1}{2} (u_{i,j} + u_{j,i} + u_{k,i} u_{k,j}) \right) \sigma_{ij} dV - \int_{S_{u0}} (u_i - (\mu V_{i0} + v_i(r_j))) r_i dS = stac, & \end{aligned} \quad (3.1)$$

amelyben a nemlineáris anyagot a megfelelő $W(\varepsilon_{ij})$ alakváltozási energiasűrűség-függvény képviseli, az alakváltozási nemlinearitást a kvadratikusan elmozdulásgradiensek mutatják, míg a terhelési nemlinearitást a $p_i(u_j)$ és a $v_i(r_j)$ függvények tartalmazzák. A teljesség kedvéért itt az elmozdulásfüggő erőteher duális változatát, az erőfüggő elmozdulásterhet is szerepeltetjük. Itt a Lagrange-leírásnak megfelelően V_0 a test kezdeti konfigurációs térfogata, míg S_{p0} és S_{u0} a vonatkozó erő- és elmozdulásterheléssel terhelt felülete.

A Hu-Washizu-elv hibrid elv, így a funkcionál stacionaritási feltétele, vagyis az első variáció eltűnése a szilárdságtan teljes kanonikus egyenletrendszerével egyenértékű:

$$\delta \pi_{HW} = \left[\frac{\partial}{\partial \varepsilon_{ij}} \quad \frac{\partial}{\partial u_i} \quad \frac{\partial}{\partial \sigma_{ij}} \quad \frac{\partial}{\partial r_i} \right] [\pi_{HW}] \begin{bmatrix} \delta \varepsilon_{ij} \\ \delta u_i \\ \delta \sigma_{ij} \\ \delta r_i \end{bmatrix} = 0, \quad (3.2)$$

amely összefüggés mind az egyensúlyi, mind a kompatibilitási feltételeket, valamint az alakváltozási energiasűrűség-függvény létezésének tényét magában foglalja. Így a funkcionál csakis nyeregfelületet reprezentálhat, és a megoldás csakis nyeregpontot jelenthet.

A különféle nemlinearitások hatása a második variációból, majd az abból származtatható érintő merevségből mutatható ki. A második variáció mátrixalakban:

$$\delta^2 \pi_{HW} = \frac{1}{2} \int [\delta \epsilon \quad \delta u \quad \delta \sigma \quad \delta r] \begin{bmatrix} \mathbf{D} & \mathbf{0} & -\mathbf{I} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \sigma^T \mathbf{G} - \mathbf{M}_F & \mathbf{A}^T + \mathbf{G}u & -\mathbf{I} \\ -\mathbf{I} & \mathbf{A} + u^T \mathbf{G} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & -\mathbf{I} & \mathbf{0} & \mathbf{M} \end{bmatrix} =$$

$$= \frac{1}{2} \int [\delta \epsilon \quad \delta u \quad \delta \sigma \quad \delta r] \mathbf{H} \begin{bmatrix} \delta \epsilon \\ \delta u \\ \delta \sigma \\ \delta r \end{bmatrix}, \quad (3.3)$$

ahol \mathbf{H} a Hesse-mátrix. \mathbf{D} a nemlineáris anyag érintő modulusa, \mathbf{G} a nemlineáris alakváltozások differenciáloperátora, \mathbf{M}_F a nemlineáris erőteher és \mathbf{M}_V a nemlineáris elmozdulásteher érintő modulusa, \mathbf{I} az egységmátrix. A \mathbf{H} Hesse-mátrix konstrukciója eszerint:

	ϵ	u	σ	r
ϵ	\mathbf{D}	$\mathbf{0}$	$-\mathbf{I}$	$\mathbf{0}$
u	$\mathbf{0}$	$\sigma^T \mathbf{G} - \mathbf{M}_F$	$\mathbf{A}^T + \mathbf{G}u$	$-\mathbf{I}$
σ	$-\mathbf{I}$	$\mathbf{A} + u^T \mathbf{G}$	$\mathbf{0}$	$\mathbf{0}$
r	$\mathbf{0}$	$-\mathbf{I}$	$\mathbf{0}$	\mathbf{M}_V

(3.4)

amelyben az árnyékolt részek tartalmazzák a nemlinearitásokat.

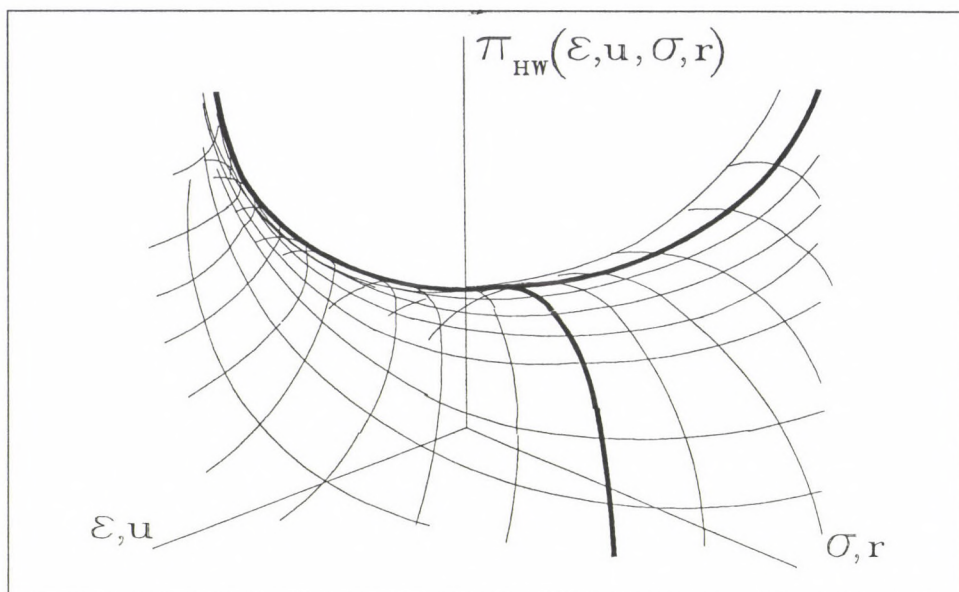
A Hesse-mátrix determinánsa adja meg az egyensúly, illetve a kompatibilitás stabilitásának feltételét, valamint a bifurkációs feltételeket. A hipermátrix determinánsának megfelelően

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} \mathbf{H}_{11} & \mathbf{H}_{12} \\ \mathbf{H}_{12}^T & \mathbf{H}_{22} \end{bmatrix},$$

$$\det \mathbf{H} = \det \mathbf{H}_{11} \cdot \det (\mathbf{H}_{22} - \mathbf{H}_{12}^T \mathbf{H}_{11}^{-1} \mathbf{H}_{12}), \quad (3.5)$$

$$\det \mathbf{H}_{11} = \det \mathbf{D} \cdot \det (\sigma^T \mathbf{G} - \mathbf{M}_F)$$

ahol



2. ábra. A Hu-Washizu-féle nyeregfelület

$$H_{11} = \begin{bmatrix} \mathbf{D} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \sigma^T \mathbf{G} - \mathbf{M}_F \end{bmatrix}, \quad H_{12} = \begin{bmatrix} -\mathbf{I} & \mathbf{0} \\ \mathbf{A}^T + \mathbf{G}\mathbf{u} & -\mathbf{I} \end{bmatrix}, \quad H_{22} = \begin{bmatrix} \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{M}_V \end{bmatrix}. \quad (3.6)$$

A $\det \mathbf{H}_{11} > 0$ feltétel szerint a tényleges megoldást az (ϵ, u) kinematikai mezők feletti minimum, a $\det \mathbf{H} < 0$ feltétel szerint pedig a (σ, r) statikai mezők feletti maximum reprezentálja, amint azt a 2. ábrán szimbolikus ábrázolásban szemléltetjük.

4. Az egyes nemlinearitás-fajták szerepe szerkezetek állapotváltozásában

Az alábbiakban az anyagi, az alakváltozási, az elmozdulási és a terhelési nemlinearitások szerkezetek állapotváltozására gyakorolt hatását elemezzük.

4.1. Az anyagi nemlinearitás szerepe. Az anyagi érintő modulus fejlődéstörténete

Vizsgáljuk meg az anyagi nemlinearitás szerepét, vagyis azt, hogy miként befolyásolja a \mathbf{D} anyagi érintő modulus a Hesse-mátrix definitási tulajdonságait.

A Hesse-mátrix anyagi nemlinearitást tartalmazó egyetlen blokkját árnyékolással különböztettük meg.

	ε	u	σ	r
ε	D	0	$-I$	0
u	0	$\sigma^T G - M_F$	$A^T + Gu$	$-I$
σ	$-I$	$A + u^T G$	0	0
r	0	$-I$	0	M_v

(4.1)

Az anyagi nemlinearitás D mátrixának szerepe a

$$\det H = \det H_{11} \cdot \det(H_{22} - H_{12}^T H_{11}^{-1} H_{12})$$

és a

$$\det H_{11} = \det D \cdot \det(\sigma^T G - M_F)$$

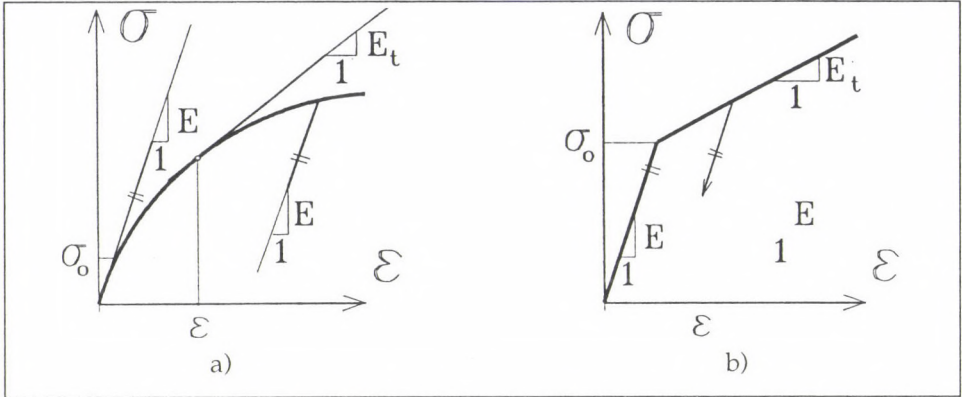
kifejezésekből állapítható meg. Eszerint a H_{11} mátrix pozitív definitása nagyban függ a D anyagi érintő modulusától.

A D anyagi érintő modulus fontos szerepet játszik a szerkezeti analízisben, és fejlődéstörténete kiemelkedő állomásokat tartalmaz. Tekintsük át nagy vonalakban a nemlineáris anyag érintő modulusának fejlődési útját Bruhns (1984) tanulmánya alapján.

Az érintő modulus születését a nyomott rúd Euler-féle stabilitásvizsgálati megoldása, illetve a probléma mindenkor aktualitása idézte elő. Euler 1744-ben az anyagot lineárisan rugalmasnak tekintette, azonban később felmerült, hogy a kihajlás bekövetkeztekor képlékeny viselkedés is le kell hogy játszódjék, s ekkor az eredeti rugalmassági modulus érvényét veszti. Euler konstans E rugalmassági modulusát a múlt század végén Engesser munkássága nyomán az

$$E_t(\varepsilon) = \frac{d\sigma(\varepsilon)}{d\varepsilon} \quad (4.2)$$

érintő modulus váltotta fel a 3.a. ábra szerinti értelmezésben, ahol az E kezdeti rugalmassági modulus a lineárisan rugalmas viselkedés σ_0 rugalmassági határáig érvényes. Ennek alapján alkalmazták a bilineáris idealizációt a 3.b. ábra szerint. Később, Considère javaslatára, ezt az ún. E_r redukált modulus váltotta fel, amely $E \geq E_r \geq E_t$. Lényeges változást Shanley munkássága hozott (1946, 1947), aki egy egyszerű rugós modell segítségével bebizonyította a képlékeny viselkedés jelenlétét, és az érintő modulusát már a mai formához hasonló alakban írta fel:



3. ábra. Az érintő modulus születése

$$\delta\sigma = \begin{cases} E \delta\varepsilon & \text{rugalmas terheléskor vagy rugalmas és képlékeny tehermentesítéskor} \\ E_t \delta\varepsilon & \text{képlékeny terheléskor} \end{cases} \quad (4.3)$$

Az érintő modulus kontinuumra történő általánosítása Hill kiemelkedő munkájának eredménye (1958). Ő növekményes anyagegyenletet javasolt a rugalmas-képlékeny anyagra,

$$\dot{\sigma} = E\dot{\varepsilon} - \frac{\alpha}{h}(\lambda\dot{\varepsilon})\lambda = \dot{\sigma}(\dot{\varepsilon}), \quad (4.4)$$

ahol E a pillanatnyi rugalmassági (érintő) modulus, h egy pozitív keményedési függvény, λ a folyási felület normálisa, és α egy pozitív indikátor az alábbiak szerint:

$$\alpha = \begin{cases} 1 & \text{ha } \lambda\dot{\varepsilon} \geq 0 \\ 0 & \text{ha } \lambda\dot{\varepsilon} < 0 \end{cases} \quad (4.5)$$

amely elválasztja a rugalmas és képlékeny viselkedést: ha a feszültségek a folyási felületen belül vannak, vagyis a viselkedés rugalmas, akkor $\alpha=0$, egyébként $\alpha=1$. Hosszú ideig Hill elmélete jelentette a rugalmas-képlékeny állapotváltozás-vizsgálatok és a bifurkációs elméletek alapját (1962, 1967, 1978). Hogy az anyagfüggvény terhelés-tehermentesítési töréspontja miatti nemsima viselkedést elkerülje, Hill bevezette az ún. lineáris helyettesítő anyag (linear comparison solid) fogalmát, ahol $\alpha=1$, amellyel a tehermentesítést kizárja.

A termodinamikai általánosítás, az érintő operátor megjelenése az elmúlt húsz év képlékenységtani kutatásainak az eredménye. Az 1970-es évektől kezdve töb-

ben, Nguyen (1990, 1993), Rice (1971, 1976), Rice, Rudnicki (1980), Raniecki, Bruhns (1981), Bruhns (1984), Benallal, Billardon, Geymonat (1989, 1993), Billardon, Doghri (1989) foglalkoztak az érintő operátor levezetésével és finomításával a termodinamika keretei között.

Munkájuk nyomán született meg az általánosított időfüggetlen standard disszipatív anyag fogalma, amely három termodinamikai potenciálfüggvényre épül. Az első a szabad energia: $\Psi(\varepsilon, \alpha, T)$, a második a reverzibilitási függvény: $f(A, \alpha, T)$, a harmadik pedig a disszipációs függvény: $F(A, \dot{\alpha}, T)$. Ezek a potenciálfüggvények egyaránt az ε alakváltozások, az α termodinamikai belső kinematikai változók, valamint a T hőmérséklet függvényei. A termodinamikai állapotegyenletek

$$\sigma = \rho \frac{\partial \Psi}{\partial \varepsilon}, \quad A = -\rho \frac{\partial \Psi}{\partial \alpha}, \quad s = -\rho \frac{\partial \Psi}{\partial T} \quad (4.6)$$

pedig a statikai változókat szolgáltatják, a σ feszültségeket, az A termodinamikai erőket és az s entrópiát.

A fenti potenciálfüggvények segítségével a nemlineáris irreverzibilis, disszipatív anyagi viselkedés a növekményekben lineáris anyagtörvény formájában írható le:

$$\dot{\sigma} = L(\varepsilon, \alpha) : \dot{\varepsilon}, \quad (4.7)$$

ahol L az érintő operátor:

$$L = \begin{cases} E & \text{ha } f(A, \alpha) = 0 \text{ és } \mathbf{b} : \mathbf{E} : \dot{\varepsilon} < 0 \\ E - \frac{(\mathbf{E} : \mathbf{a}) \otimes (\mathbf{b} : \mathbf{E})}{h} & \text{ha } f(A, \alpha) = 0 \text{ és } \mathbf{b} : \mathbf{E} : \dot{\varepsilon} \geq 0 \end{cases} \quad (4.8)$$

amely az alábbi tenzorokból, illetve függvényekből épül fel:

$$E = \rho \frac{\partial^2 \Psi}{\partial \varepsilon \partial \varepsilon}, \quad \mathbf{a} = \mathbf{E}^{-1} : \Lambda^T \circ \frac{\partial F}{\partial A}, \quad \mathbf{b} = \frac{\partial f}{\partial A} \circ \Lambda : \mathbf{E}^{-1}, \quad (4.9)$$

$$h = \frac{\partial f}{\partial A} \circ \Pi \circ \frac{\partial f}{\partial A} - \frac{\partial f}{\partial \alpha} \circ \frac{\partial f}{\partial A} > 0, \quad \Pi = \rho \frac{\partial^2 \Psi}{\partial \alpha \partial \alpha}, \quad \Lambda = -\rho \frac{\partial^2 \Psi}{\partial \alpha \partial \varepsilon}. \quad (4.10)$$

Az általánosított időfüggetlen standard disszipatív anyag speciális eseteiként értelmezhetők a képlékenységtan ismert anyagai, mint az izoterm anyagok, a rugalmas-képlékeny anyagok, sőt a károsodó anyagok is.

Az utóbbi évtized kutatási eredményei nyomán született meg az érintő operátor további általánosítása, azaz kiterjesztése a károsodási lokalizációs jelenségekre is. Lokalizációnál az anyagi tönkremenetel a test kicsi, végső fázisban zérus térfogatú tartományára korlátozódik, azaz lokalizálódik, mialatt a károsodás környezetében rugalmas tehermentesülés játszódik le, amely az egyensúly stabilitásának a fennmaradását eredményezheti. A rugalmas-képlékeny anyag érintő operátora nem kapcsolt folyási törvény esetén a

$$\mathbf{D}^{ep} = \mathbf{E} - \frac{(\mathbf{E}:\mathbf{a}) \otimes (\mathbf{b}:\mathbf{E})}{H + \mathbf{a}:\mathbf{E}:\mathbf{b}} \quad (4.11)$$

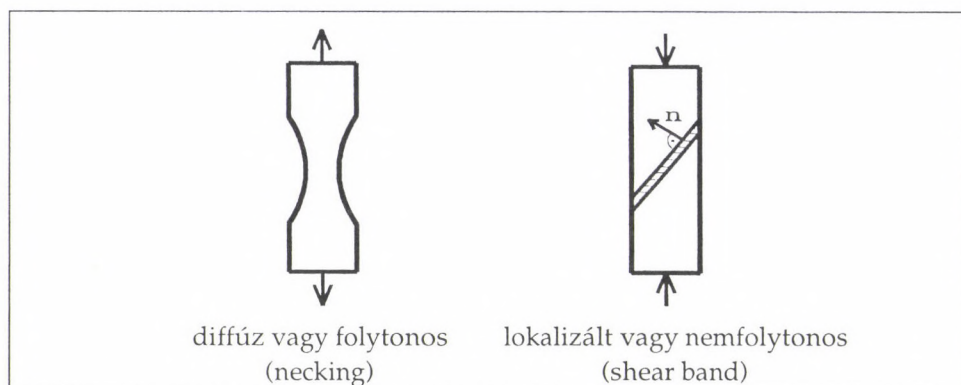
alakú, amelyből nyerhető az ún. akusztikus vagy lokalizációs tenzor:

$$\mathbf{Q} = \mathbf{n} \cdot \mathbf{D}^{ep} \cdot \mathbf{n}, \quad (4.12)$$

ahol \mathbf{n} a lokalizálódott és a tehermentesülő tartományokat elválasztó felület normálisa a 4. ábrának megfelelően, Neilsen és Schreyer, (1993), Szabó (1998). A 4. ábra az anyagi tönkremeneteli fajták két alapvető osztályát mutatja be a centrikusan terhelt rúd esetén, a diffúz vagy folytonos (pl. necking) és a lokalizált vagy nem folytonos (pl. shear band) jelenséget. Mint látható, diffúz károsodásnál nincs lokalizáció.

Az anyagi érintő modulus Hesse-mátrixot befolyásoló hatása tehát a fentiekben ismertetett tulajdonságain keresztül érvényesül.

Az anyagi nemlinearitás jelenségét állítja a középpontba az a fajta vizsgálat, amelynél a Hu-Washizu-funkcionálban mindenfajta mellékfeltételt bevezetnek,

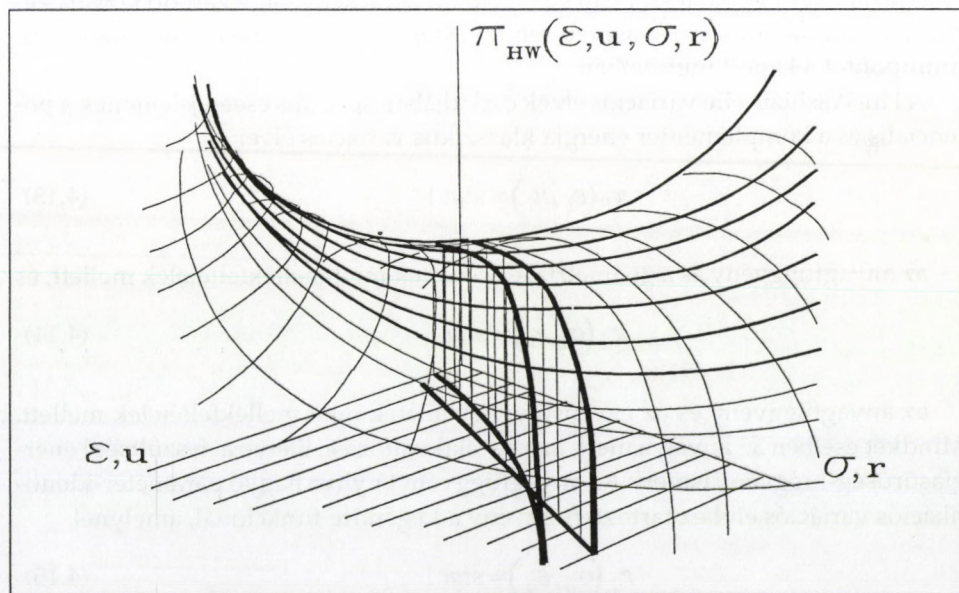


4. ábra. Anyagi tönkremeneteli fajták

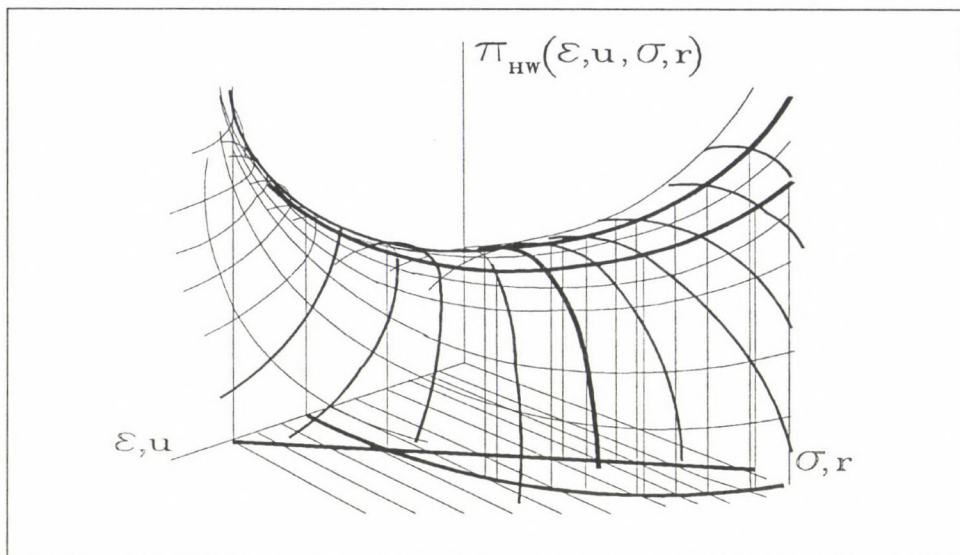
kiküszöbölve a legtöbb változót, csupán az anyagi viselkedés függvénye marad nyitva. Ekkor az alakváltozások és a feszültségek közötti viszony a kérdéses, amelyet a funkcionál variálása útján válaszolnak meg. Ezzel a problémával foglalkozik a *paraméter-identifikáció*, amelynél a kérdést fordítva teszik fel: hogyan befolyásolja a Hesse-mátrix a **D** anyagi érintő merevséget?

Ezt a jelenséget illusztráljuk szimbolikusan az 5. ábrán, ahol állandó feszültségmezők mentén variálunk. Ekkor a Hu-Washizu-felület állandó feszültségekhez tartozó, kinematikailag lehetséges metszetek menti minimumpontjait keressük meg, ezeket összekötve egy statikailag lehetséges mezőnek megfelelő metszetet kapunk, amely menti maximumpont adja a tényleges mezőket, a megoldást. Ezt a metszetet vetítjük le a feszültség-alakváltozási alapsíkra, amelynek eredményeként kapjuk meg a lineáris vagy nemlineáris anyagfüggvényt.

Ennek duálisa játszódik le a 6. ábrán, ahol állandó alakváltozásmezők mentén variálunk. Ekkor a Hu-Washizu-felület állandó alakváltozásokhoz tartozó, statikailag lehetséges metszetek menti maximumpontjait keressük meg, ezeket összekötve egy kinematikailag lehetséges mezőnek megfelelő metszetet kapunk, amely menti minimumpont adja meg a tényleges mezőket, a megoldást. Ezt a metszetet vetítjük le a feszültség-alakváltozási alapsíkra, amelynek eredményeként ugyancsak a lineáris vagy nemlineáris anyagfüggvényt (az előző inverzét) kapjuk meg.



5. ábra. Variálás állandó feszültségmezők mentén



6. ábra. Variálás állandó alakváltozás-mezők mentén

Reguláris esetben az 5. és 6. ábra szerint játszódik le a folyamat. Azonban, ha elfajuló anyagi viselkedésről van szó, például képlékeny vagy záródó fázisba kerül az anyag, akkor a Hu-Washizu-felület „kiegyenesedik”, nem szolgáltat extrémumot a kapott metszetben.

A Hu-Washizu-féle variációs elvek családjában speciális esetet jelentenek a potenciális és a komplementer energia klasszikus variációs elvei:

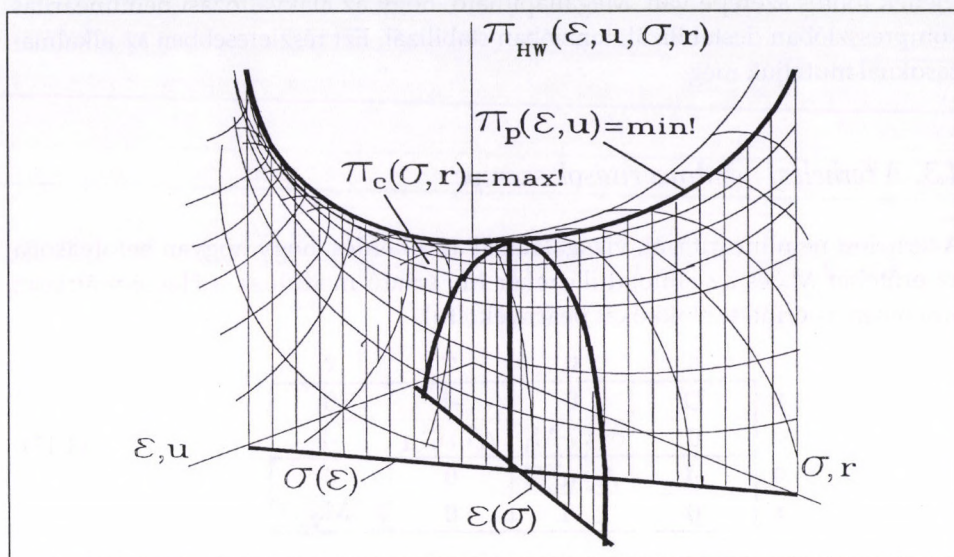
$$\pi_P(\epsilon_{ij}, u_i) = \text{stac}! \quad (4.13)$$

az anyagfüggvény és a geometriai egyenletek mint mellékfeltételek mellett, és

$$\pi_C(\sigma_{ij}, r_i) = \text{stac}! \quad (4.14)$$

az anyagfüggvény és az egyensúlyi egyenletek mint mellékfeltételek mellett. Mindkét esetben az anyag ismert, azaz a alakváltozási, illetve a feszültségi energiasűrűség-függvény ismert. Az anyagfüggvényt nyitva hagyó paraméter-identifikációs variációs elvhez tartozó függvény a Legendre-funkcionál, amelynél

$$\pi_L(\sigma_{ij}, \epsilon_{ij}) = \text{stac}! \quad (4.15)$$



7. ábra. Speciális eset: lineáris anyag

az egyensúlyi és geometriai egyenletek mint mellékfeltételek mellett, s a stationaritási feltétel ekkor éppen az anyag meghatározását eredményezi. Mindhárom elvet lineáris anyagfüggvény mellett a 7. ábra illusztrálja.

4.2. Az alakváltozási nemlinearitás szerepe

Az alakváltozási nemlinearitás hatásának elemzésénél azt vizsgáljuk, hogy miként befolyásolja az alakváltozási nemlinearitást jellemző \mathbf{G} geometriai differenciáloperátor-mátrix a Hesse-mátrixot, amelyben az alakváltozási nemlinearitási blokkokat beárnyékoltuk.

	ϵ	u	σ	r
ϵ	\mathbf{D}	$\mathbf{0}$	$-\mathbf{I}$	$\mathbf{0}$
u	$\mathbf{0}$	$\sigma^T \mathbf{G} - \mathbf{M}_F$	$\mathbf{A}^T + \mathbf{G}u$	$-\mathbf{I}$
σ	$-\mathbf{I}$	$\mathbf{A} + u^T \mathbf{G}$	$\mathbf{0}$	$\mathbf{0}$
r	$\mathbf{0}$	$-\mathbf{I}$	$\mathbf{0}$	\mathbf{M}_V

(4.16)

Ekkor ismét a $\det \mathbf{H} = \det \mathbf{H}_{11} \cdot \det(\mathbf{H}_{22} - \mathbf{H}_{12}^T \mathbf{H}_{11}^{-1} \mathbf{H}_{12})$ és a $\det \mathbf{H}_{11} = \det \mathbf{D} \cdot \det(\sigma^T \mathbf{G} - \mathbf{M}_F)$ kifejezéseket vizsgáljuk. Az utóbbi kifejezés szerint a pillanatnyi feszültségek szerepe csak alakváltozási nemlinearitás mellett érvényesíthető, és a feszültségek elő-

jelének fontos szerepe van. Megállapítható, hogy az alakváltozási nemlinearitás kompresszióban destabilizál, tenzióban stabilizál. Ezt részletesebben az alkalmazásoknál mutatjuk meg.

4.3. A terhelési nemlinearitások szerepe

A terhelési nemlinearitások vizsgálatánál az a kérdés, hogy hogyan befolyásolja az erőteher M_F és az elmozdulásteher M_v érintő modulusa a Hesse-mátrixot, amelyben az érintett blokkokat beárnyékkoltuk.

	ε	u	σ	r
ε	D	0	-I	0
u	0	$\sigma^T G - M_F$	$A^T + Gu$	-I
σ	-I	$A + u^T G$	0	0
r	0	-I	0	M_v

(4.17)

A $\det H = \det H_{11} \cdot \det(H_{22} - H_{12}^T H_{11}^{-1} H_{12})$ és a $\det H_{11} = \det D \cdot \det(\sigma^T G - M_F)$ kifejezésekből kiolvasható, hogy pozitív erőteher érintő modulusa destabilizál, a negatív stabilizál. Ugyanez fordítva érvényes az elmozdulásteherre. Az elmozdulásfüggő teher részletes elemzése, stabilitást befolyásoló hatása Kurutz (1997, 1999) munkáiban olvasható.

Egyensúlyi utak stabilitásával foglalkozik Petryk (1993) és Kurutz (1996) a deformációfüggő nemlineáris teher hatását elemelve. Más-más definíciót adva, egybehangzóan megállapítják, hogy az elmozdulásfüggő teher az egyensúlyi utat módosítja: a klasszikus egyensúlyi utat érintő teherfüggvény érintési pontja függőlegesében lesz a módosított egyensúlyi út határpontja, amint az a 8. ábráról leolvasható. Megállapítható, hogy növekvő modulusú teher destabilizál, míg csökkenő modulusú teher stabilizál.

5. Az érintő merevségi mátrix

Mindenfajta állapotváltozás-vizsgálat, amelynél valamely nemlinearitási fajta jelen van, iterációs eljárása vezet, amelynek alapja az érintő merevségi mátrix. Az érintő merevségi mátrixot többféle úton is előállíthatjuk. Megtehetjük, hogy a Hu-Washizu-funkcionálból indulunk ki, kiküszöböljük a statikai jellegű ismeretleneket, ekkor a potenciális energia stacionaritási elvéhez jutunk, amelyből az érintő merevségi mátrix levezethető. Más megoldást jelent, ha a virtuális munka növekményelvét írjuk fel egy adott egyensúlyi konfigurációra vonatkozóan, amelyhez tartozó érintő merevségi mátrix meghatározható.

5.1. Az elemi érintő merevségi mátrix

A részletek mellőzésével a végeelem-módszer egy elemére vonatkozó érintő merevségi mátrixot, amely valamennyi ismertett nemlinearitási formát tartalmazza, az alábbiakban adjuk meg

$$\begin{aligned} \mathbf{k}_t^n = & \int_{V_0} \mathbf{H}_n^T (\mathbf{A}^T + \mathbf{G} \mathbf{u}_n) \mathbf{D}_t^n (\mathbf{u}_n^T \mathbf{G} + \mathbf{A}) \mathbf{H}_n dV_0 + \\ & + \int_{V_0} \boldsymbol{\sigma}_n^T (\mathbf{A} \mathbf{W}_n + \mathbf{u}_n^T \mathbf{G} \mathbf{W}_n + \mathbf{H}_n^T \mathbf{G} \mathbf{H}_n) dV_0 - \\ & - \int_{V_0} \mathbf{H}_n^T \mathbf{M}_{F_t}^n \mathbf{H}_n dV_0 - \int_{S_0} \mathbf{H}_n^T \mathbf{M}_{P_t}^n \mathbf{H}_n dS_0 - \int_{V_0} \mathbf{f}_n^T \mathbf{W}_n dV_0 - \int_{S_0} \mathbf{p}_n^T \mathbf{W}_n dS_0 - \\ & - \int_{V_0} \lambda \mathbf{F}_0^T \mathbf{W}_n dV_0 - \int_{S_0} \lambda \mathbf{P}_0^T \mathbf{W}_n dS_0. \end{aligned} \quad (5.1)$$

Az érintő merevségi mátrix markánsan elkülönülő részei az alábbiak:

Az anyagi érintő merevség:

$$\mathbf{k}_t^{anyag} = \int_{V_0^e} \mathbf{H}_n^T (\mathbf{A}^T + \mathbf{G} \mathbf{u}_n) \mathbf{D}_t (\mathbf{u}_n^T \mathbf{G} + \mathbf{A}) \mathbf{H}_n dV_0, \quad (5.2)$$

amely az anyagi nemlinearitás \mathbf{D}_t érintő modulusát, valamint az alakváltozási nemlinearitás \mathbf{G} differenciáloperátorát tartalmazza.

A geometriai érintő merevség:

$$\mathbf{k}_t^{geom} = \int_{V_0^e} \boldsymbol{\sigma}^T (\mathbf{A} \mathbf{W}_n + \mathbf{u}_n^T \mathbf{G} \mathbf{W}_n + \mathbf{H}_n^T \mathbf{G} \mathbf{H}_n) dV_0 \quad (5.3)$$

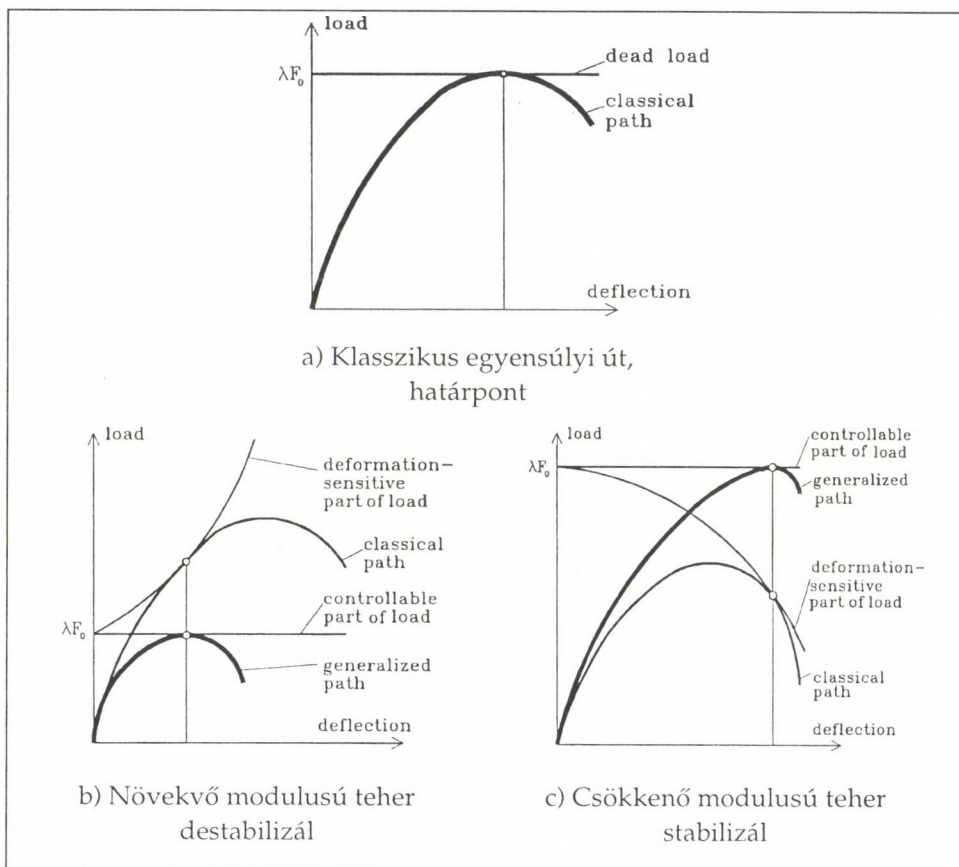
amely az alakváltozási nemlinearitás \mathbf{G} differenciáloperátorát és az elmozdulási nemlinearitás \mathbf{W} mátrixát tartalmazza.

A teher érintő merevsége:

$$\begin{aligned} \mathbf{k}_t^{teher} = & - \int_{V_0} \mathbf{H}_n^T \mathbf{M}_{F_t}^n \mathbf{H}_n dV_0 - \int_{S_0} \mathbf{H}_n^T \mathbf{M}_{P_t}^n \mathbf{H}_n dS_0 - \int_{V_0} \mathbf{f}_n^T \mathbf{W}_n dV_0 - \\ & - \int_{S_0} \mathbf{p}_n^T \mathbf{W}_n dS_0 - \int_{V_0} \lambda \mathbf{F}_0^T \mathbf{W}_n dV_0 - \int_{S_0} \lambda \mathbf{P}_0^T \mathbf{W}_n dS_0, \end{aligned} \quad (5.4)$$

amely a nemlineáris teher \mathbf{M}_{F_t} és \mathbf{M}_{P_t} érintő modulusát, valamint az elmozdulási nemlinearitás \mathbf{W} mátrixát tartalmazza.

A teljes érintő merevség tehát alapvetően három részből áll:



8. ábra. Nemlineáris elmozdulásfüggő teherrel módosított egyensúlyi utak

$$\mathbf{k}_t = \mathbf{k}_t^{anyag} + \mathbf{k}_t^{geom} + \mathbf{k}_t^{teher}. \quad (5.5)$$

Az érintő merevségi mátrix linearitási viszonyait az alábbi táblázatban foglaltuk össze. A táblázatból kiolvasható, hogy a komplex, mindenre kiterjedő nemlinearitást tartalmazó érintő merevségtől a legegyszerűbb teljes linearitásig minden eset elképzelhető. A közbenső vegyes linearitású esetek is világosan kiolvashatók (5.6).

ELEMI ÉRINTŐ MEREVSÉG

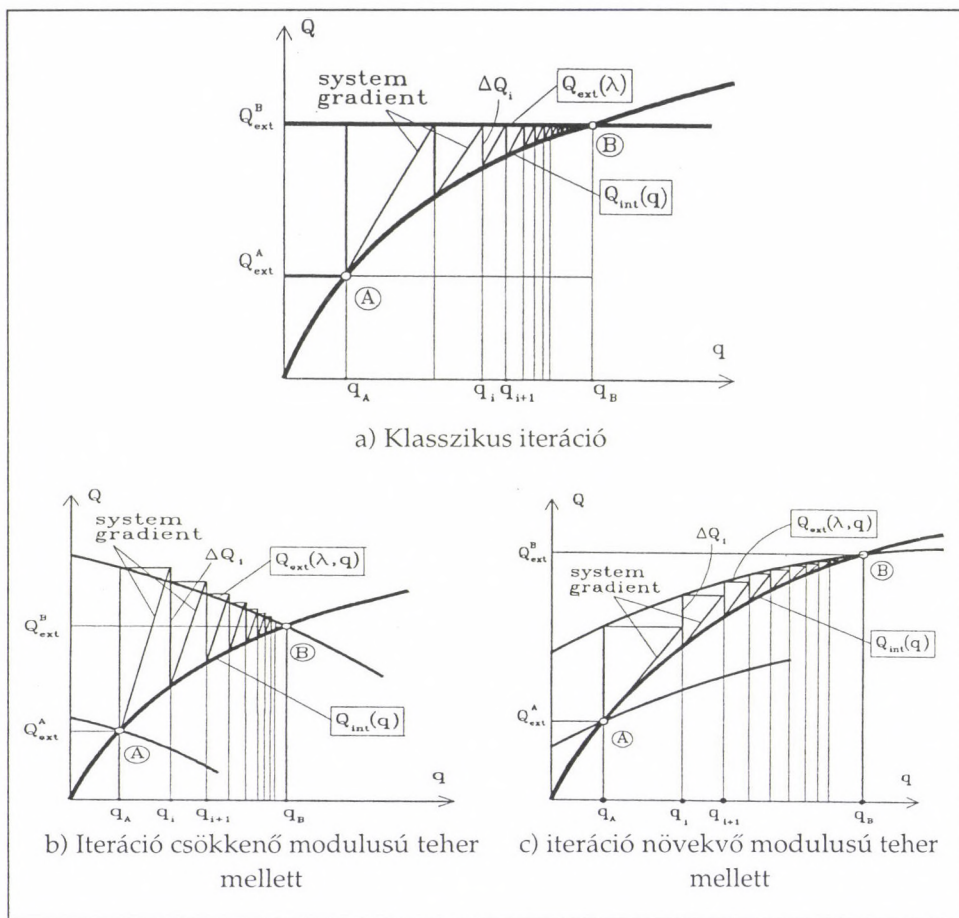
(5.6)

Nemlineáris anyag, nemlineáris teher	Nemlineáris alakváltozások	Lineáris alakváltozások
Nemlineáris elmozdulások	$\int_{V_0} \mathbf{H}_n^T (\mathbf{A}^T + \mathbf{G} \mathbf{u}_n) \mathbf{D}_i^n (\mathbf{u}_n^T \mathbf{G} + \mathbf{A}) \mathbf{H}_n dV_0$ $\int_{V_0} \boldsymbol{\sigma}_n^T (\mathbf{A} \mathbf{W}_n + \mathbf{u}_n^T \mathbf{G} \mathbf{W}_n + \mathbf{H}_n^T \mathbf{G} \mathbf{H}_n) dV_0$ $- \int_{V_0} \mathbf{H}_n^T \mathbf{M}_{ft}^n \mathbf{H}_n dV_0 - \int_{S_0} \mathbf{H}_n^T \mathbf{M}_{pt}^n \mathbf{H}_n dS_0$ $- \int_{V_0} \mathbf{f}_n^T \mathbf{W}_n dV_0 - \int_{S_0} \mathbf{p}_n^T \mathbf{W}_n dS_0$ $- \int_{V_0} \lambda \mathbf{F}_0^T \mathbf{W}_n dV_0 - \int_{S_0} \lambda \mathbf{P}_0^T \mathbf{W}_n dS_0$	$\int_{V_0} \mathbf{H}_n^T \mathbf{A}^T \mathbf{D}_i^n \mathbf{A} \mathbf{H}_n dV_0$ $\int_{V_0} \boldsymbol{\sigma}_n^T \mathbf{A} \mathbf{W}_n dV_0$ $- \int_{V_0} \mathbf{H}_n^T \mathbf{M}_{ft}^n \mathbf{H}_n dV_0 -$ $- \int_{S_0} \mathbf{H}_n^T \mathbf{M}_{pt}^n \mathbf{H}_n dS_0$ $- \int_{V_0} \mathbf{f}_n^T \mathbf{W}_n dV_0 - \int_{S_0} \mathbf{p}_n^T \mathbf{W}_n dS_0$ $- \int_{V_0} \lambda \mathbf{F}_0^T \mathbf{W}_n dV_0 - \int_{S_0} \lambda \mathbf{P}_0^T \mathbf{W}_n dS_0$
Lineáris elmozdulások	$\int_{V_0} \mathbf{N}^T (\mathbf{A}^T + \mathbf{G} \mathbf{u}_n) \mathbf{D}_i^n (\mathbf{u}_n^T \mathbf{G} + \mathbf{A}) \mathbf{N} dV_0$ $\int_{V_0} \boldsymbol{\sigma}_n^T (\mathbf{N}^T \mathbf{G} \mathbf{N}) dV_0$ $- \int_{V_0} \mathbf{N}^T \mathbf{M}_{ft}^n \mathbf{N} dV_0 - \int_{S_0} \mathbf{N}^T \mathbf{M}_{pt}^n \mathbf{N} dS_0$	$\int_{V_0} \mathbf{N}^T \mathbf{A}^T \mathbf{D}_i^n \mathbf{A} \mathbf{N} dV_0$ $- \int_{V_0} \mathbf{N}^T \mathbf{M}_{ft}^n \mathbf{N} dV_0 - \int_{S_0} \mathbf{N}^T \mathbf{M}_{pt}^n \mathbf{N} dS_0$

5.2. A nemlinearitások kezelése iterációval

Az anyagi és a geometriai nemlinearitások megszokott kezelési módja az iterációs eljárás, ahol legtöbbször a Newton–Raphson-módszer klasszikus alkalmazására kerül sor. Ennek lényege, hogy két teherlépcső között az iterációs alciklusban állandó érintő merevséggel dolgozunk. Az alábbiakban azt mutatjuk meg, hogy miként módosul a Newton–Raphson-féle iteráció, ha elmozdulásfüggő teherrel terheljük a szerkezetet.

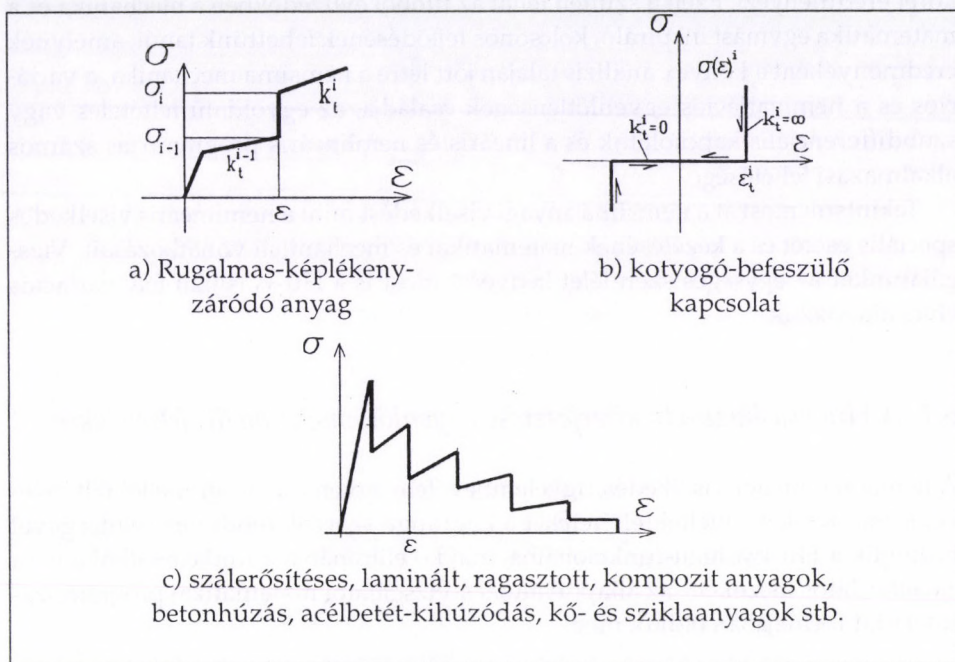
A 9. ábrán a klasszikus, majd a nemlineárisan csökkenő és növekvő teher szerint módosított iterációs sémát tüntettük fel. Az ábráról leolvasható, miként módosul az iteráció, hiszen a terhelési nemlinearitás az aktuális teher-érintő változás előjelétől függően a pillanatnyi érintő merevséget növeli, illetve csökkenti.



9. ábra. A Newton–Raphson-iteráció módosulása nemlineáris elmozdulásfüggő teher esetén

6. A nemsima anyagi viselkedés mint a nemlinearitás speciális esete

Az utóbbi években egyre nagyobb jelentőséget kaptak az olyan anyagok, szerkezeti kapcsolatok, amelyek viselkedését nemsima (nem mindenütt és nem tetszőleges mértékben differenciálható) függvények jellemzik. Ilyen eseteket mutat a 10. ábra. A 10.a. ábrán a rugalmas-képlékeny-záródó anyag, a 10.b. ábrán a kotyogó-befeszülő szerkezeti kapcsolat, az ún. záródó anyag (locking materials) látható, melynek tulajdonságait Suquet (1985) nyomán tanulmányozhatjuk. Végül a 10.c. ábrán a szálerősítéses, laminált, ragasztott, kompozit anyagok, a betonhúzás,



10. ábra. Nemsima anyagfüggvények

az acélbetét-kihúzóadás, a kő- és sziklaanyagok egyaránt nemsima, esetleg nemkonvex, fűrészfogas függvényét rajzoltuk fel. Az ilyen anyagok, szerkezeti kapcsolatok kezelése új megközelítést igényel, amelynek nyomán született meg az ún. nemsima mechanika Moreau és Panagiotopoulos (1985, 1988) munkássága nyomán.

A numerikus kezelés szempontjából azonosnak tekinthető nemsima függvényt eredményez a nemlineáris viselkedés poligonális közelítése során használt függvény, vagy az eleve nemsima, a 10. ábrán feltüntetett esetek. Az efféle anyagi-szerkezeti viselkedés az általánosított feltételes kapcsolatok, illetve a mechanika egyenlőtlenségi problémái körébe tartozik. A képlékeny és záródó anyagi-szerkezeti kapcsolatok egységes feltételes kapcsolatként való kezelésével foglalkoznak Kaliszky (1975) és Kurutz (1985, 1987) munkái. Kurutz (1991, 1993, 1994, 1996) eredményei a nemsima anyagi viselkedés stabilitási következményeit is vizsgálja.

A nemsima függvénnyel jellemezhető viselkedés egyenlőtlenségi mellékfeltételek segítségével írható le, és variációs elven történő kezelése variációs egyenlőtlenségekre és többértékű érintő merevséghez vezet. Az egyenlőtlenségi problémák numerikus kezelésének útja a matematikai programozási feladatok széles

körét eredményezi. Ezen a szinten tehát az utóbbi évtizedekben a mechanika és a matematika egymást inspiráló, kölcsönös fejlődésének lehettünk tanúi, amelynek eredményeként a konvex analízis talaján jött létre a nemsima mechanika, a variációs és a hemivariációs egyenlőtlenségek családja, az egyoldalú feltételes vagy szubdifferenciális kapcsolatok és a lineáris és nemlineáris programozás számos alkalmazási lehetősége.

Tekintsük most át a nemsima anyagi viselkedést mint a nemlineáris viselkedés speciális esetét és a kezelésének matematikai és mechanikai vonatkozásait. Vizsgálatunkat az egységes szemlélet kedvéért most is a Hu-Washizu-féle variációs elvre alapozzuk.

6.1. A Hu-Washizu-elv kiterjesztése egyenlőtlenségi mellékfeltételekre

A nemsima anyagi viselkedés figyelembevételre egyenlőtlenségi mellékfeltételeket jelent. Ezeket a mellékfeltételeket a Lagrange-szorók módszere segítségével beépítjük a Hu-Washizu-funkcionálba, majd – eliminálva a funkcionálból a nem előjelkorlátos mezőket – az állapotváltozás-vizsgálatot matematikai programozási feladat formájában oldjuk meg.

6.1. A nemsima anyagi viselkedés matematikája

Konzervatív mechanikai rendszerek stabilitásvizsgálata a klasszikus

$$\sigma(\varepsilon) = \frac{\partial W(\varepsilon)}{\partial \varepsilon} \quad (6.1)$$

potenciáltörvényen alapul, ahol $W(\varepsilon)$ a sima és konvex alakváltozási energiasűrűség-függvény. Ha a $W(\varepsilon)$ függvény nemsima és nemkonvex, a klasszikus potenciáltörvény a konvex analízis és a nemsima mechanika eszközeivel terjeszthető ki az efféle anyagokra.

Az első általánosítás nemsima, de konvex potenciálfüggvényekre Moreau (1963, 1968) nevéhez fűződik a szuperpotenciál fogalmának bevezetése révén. A vonatkozó variációs elvek ilyen esetekben variációs egyenlőtlenségekre vezetnek. A következő általánosítás nemkonvex esetekre, vagyis nemmonoton anyagfüggvényekre Panagiotopoulos (1981) érdeme, aki bevezette a nemkonvex szuperpotenciál és a hemivariációs egyenlőtlenségek fogalmát a Clarke. (1975) féle általánosított gradiens és Rockafellar (1970) vonatkozó eredményei alapján. Panagiotopoulos (1985, 1988) úttörő munkáiban lefektette a „nemsima mechani-

ka" alapjait, és megteremtette a lehetőséget a nemsima nemkonvex problémák egységes kezelésére. Felírta a nemkonvex potenciálfüggvényekre érvényes általánosított szubstacionaritási tételeket, majd további általánosításokat tett (1993), Moreau és Panagiotopoulos (1988), Nanieicz és Panagiotopoulos (1995).

A nemsimaság Panagiotopoulos (1985) definíciója alapján a függvények Lipschitz-féle jellegéből adódik. Egyszerűen szólva, az $f(x)$ függvény x pontbeli törési diszkontinuitása a Lipschitz-feltételt kielégíti, míg ugrás jellegű diszkontinuitása nem. Az $f(x)$ függvénynek mind a $\partial f(x)$ szubdifferenciálja, mind a $\bar{\partial} f(x)$ általánosított gradiense létezése feltételezi, hogy a függvény Lipschitz-függvény legyen az x pontban. Az $f(x)$ függvény x_0 pontja szubstacionaritási pont, ha x_0 megoldása az alábbi bennfoglalásnak:

$$0 \in \partial \bar{f}(x), \quad (6.2)$$

ahol az általánosított gradiens $\bar{\partial} f(x)$ halmaza nemüres halmaz, ha $f(x)$ Lipschitz-függvény az x pontban. Ha $f(x)$ konvex is, akkor a $\bar{\partial} f(x)$ általánosított gradiens halmaza egybeesik a $\bar{\partial} f(x) = \{\text{grad } f(x)\}$ szubdifferenciállal, ha pedig még sima is, vagyis tetszőleges számban folytonosan differenciálható is az x pontban, akkor $\bar{\partial} f(x) = \text{grad } f(x)$, azaz a halmaz egyelemű, s az elem a klasszikus differenciál.

Ha az anyag reverzibilis, de az alakváltozási energiasűrűség $W(\varepsilon)$ funkcionálja nemsima, akkor a konzervatív feszültségeket a bennfoglalás formáját öltő

$$\sigma(\varepsilon) \in \partial W(\varepsilon) \quad (6.3)$$

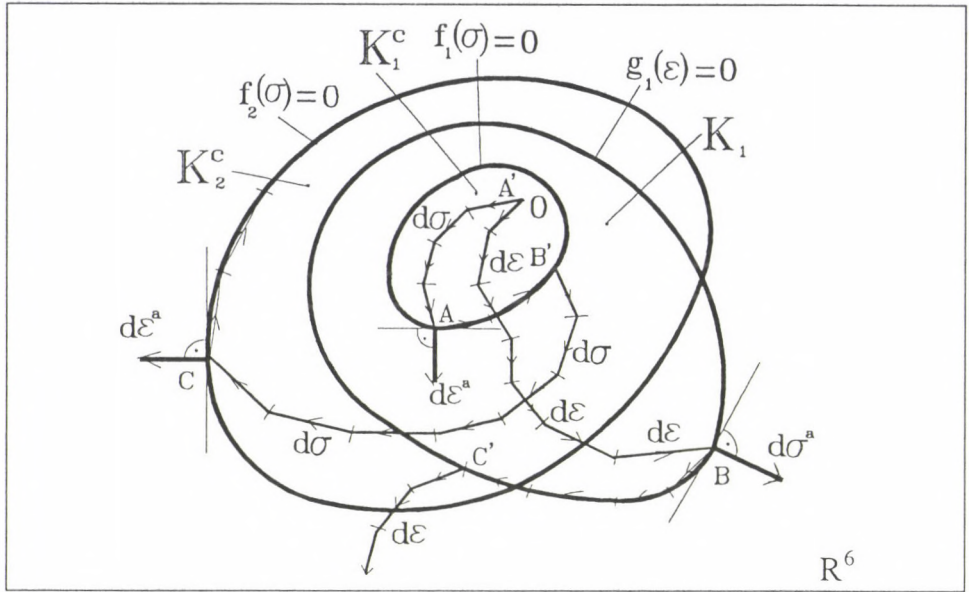
szuperpotenciál törvényből kapjuk, amelyet Moreau (1968) vezetett be. Itt $\partial f(x)$ a $W(\varepsilon)$ szuperpotenciál szubdifferenciálja, többértékű leképzés, mint a klasszikus potenciáltörvény általánosítása, Panagiotopoulos (1981, 1985). Ugyanő további általánosítást ad a nemmonoton, nemkonvex, de reverzibilis anyagra levezetett

$$\sigma(\varepsilon) \bar{\partial} W(\varepsilon) \quad (6.4)$$

bennfoglalás révén, az általánosított gradiensre építve. Panagiotopoulos az említett munkáiban kitér a disszipatív anyagi viselkedésre is, a vizsgálatokat növekményelméletre alapozva.

Foglalkozzunk ezek után a poligonálisan rugalmas-képlékeny-záródó anyagi viselkedés nemsima mechanika eszközeivel történő leírásával.

A 10. ábrán bemutatott tipikus nemsima, poligonálisan rugalmas-képlékeny-kotyogó-záródó anyagi viselkedés az \mathbb{R}^6 tér alábbi, a záródási és folyási feltételekhez rendelt konvex részhalmazaival jellemezhető:



11. ábra. A folyási és záródási hiperfelületek által határolt konvex halmazok

$$K_i(x_k) = \left\{ \varepsilon_{ij}(x_k) \mid g_i(\varepsilon_{ij}(x_k)) \leq 0 \right\} \quad x_k \in V \quad \varepsilon_{ij} \in R^6 \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad (6.5)$$

és

$$K_j^c(x_k) = \left\{ \sigma_{ij}(x_k) \mid f_j(\sigma_{ij}(x_k)) \leq 0 \right\} \quad x_k \in V \quad \sigma_{ij} \in R^6 \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad (6.6)$$

ahol $f_j(\sigma_{ij}(x_k)) \leq 0$ és $g_i(\varepsilon_{ij}(x_k)) \leq 0$ a koaxiális R^6 feszültség-alakváltozástérben értelmezett folyási és záródási függvények. A 11. ábrán ezeket a konvex halmazokat ábrázoltuk a 10.a esetre vonatkozóan, ahol egy rugalmas-képlékeny-záródó-képlékeny anyagot tüntettünk fel.

Ahhoz, hogy a konvex részhalmazokból kiléphessünk az R^6 térbe, vagyis hogy a klasszikus, R^6 térben értelmezett anyagtörvényhez hasonló alakú összefüggésekhez juthassunk, be kell vezetnünk a K és K^c konvex halmazok indikátor-funkcionálját az alábbi módon:

$$J_K(\varepsilon_{ij}) = \begin{cases} \Phi g(\varepsilon_{ij}) = 0, & \text{ha } \varepsilon_{ij} \in K \\ \infty & \text{ha } \varepsilon_{ij} \notin K \end{cases} \quad (6.7)$$

és

$$J_K^c(\sigma_{ij}) = \begin{cases} \Lambda f(\sigma_{ij}) = 0, & \text{ha } \sigma_{ij} \in K^c \\ \infty & \text{ha } \sigma_{ij} \notin K^c \end{cases} \quad (6.8)$$

amely matematikai fogalmak tulajdonképpen az ortogonalitási törvényt reprezentálják fizikailag. Ugyanis itt a nemnegatív $\Phi \geq 0$ és $\Lambda \geq 0$ mennyiségek a záródási feszültségek és a képlékeny alakváltozások skalár szorzósebességei, amelyek a nempozitív $g(\varepsilon_{ij}) \leq 0$ záródási és $f(\sigma_{ij}) \leq 0$ folyási feltételekkel kizárják egymást, tehát ortogonálisak. Másfelől, ha a $g(\varepsilon_{ij}) \leq 0$ záródási és az $f(\sigma_{ij}) \leq 0$ folyási feltételeket a Hu-Washizu-funkcionálbeli alakváltozásokra és feszültségekre előírt egyenlőtlenségi mellékfeltételeknek tekintjük, akkor a $\Phi \geq 0$ és $\Lambda \geq 0$ mennyiségeket a mellékfeltételek Lagrange-szorójának tekinthetjük, és így a fent definiált indikátor funkcionálok a Lagrange-függvények, amelyekkel a Hu-Washizu-funkcionálbeli $W(\varepsilon_{ij})$ alakváltozási és $W^c(\sigma_{ij})$ feszültségi sűrűségfüggvényt kiegészíthetjük, azaz

$$W(\varepsilon_{ij}) = W_0(\varepsilon_{ij}) + J_K(\varepsilon_{ij}) \quad \text{és} \quad W^c(\sigma_{ij}) = W_0^c(\sigma_{ij}) + J_K^c(\sigma_{ij}) \quad (6.9)$$

Eszerint a szubstacionaritási tétel és annak konjugáltja szerint az anyagfüggvény szubdifferenciálás útján nyerhető mind a képlékeny anyagi fázisra

$$\begin{aligned} \varepsilon_{ij} \in \partial W^c(\sigma_{ij}) &\equiv \partial W_0^c(\sigma_{ij}) + \partial J_K^c(\sigma_{ij}) \equiv \\ &\equiv \partial W_0^c(\sigma_{ij}) + \begin{cases} \Lambda \partial f(\sigma_{ij}) = \Lambda f_{ij}, & \text{ha } \sigma_{ij} \in K^c \\ 0 & \text{ha } \sigma_{ij} \notin K^c \end{cases} \end{aligned} \quad (6.10)$$

mind a záródási anyagi fázisra vonatkozóan

$$\begin{aligned} \sigma_{ij} \in \partial W(\varepsilon_{ij}) &\equiv \partial W_0(\varepsilon_{ij}) + \partial J_K(\varepsilon_{ij}) \equiv \\ &\equiv \partial W_0(\varepsilon_{ij}) + \begin{cases} \Phi \partial g(\varepsilon_{ij}) = \Phi g_{ij}, & \text{ha } \varepsilon_{ij} \in K \\ 0 & \text{ha } \varepsilon_{ij} \notin K \end{cases} \end{aligned} \quad (6.11)$$

ahol f_{ij} és g_{ij} a konvex folyási és záródási hiperfelületek gradiensei. Az indikátor-funkcionálok szubdifferenciáljai tehát a normalitási törvényt fejezik ki. A szubdifferenciális anyagtörvények tehát a klasszikus szuperpozíciós elvet tartalmazzák, miszerint

$$\varepsilon_{ij} = \varepsilon_{ij}^e + \varepsilon_{ij}^p = D_{ijkl}^{-1} \sigma_{kl} + \Lambda f_{ij} \quad (6.12)$$

a képlékeny és

$$\sigma_{ij} = \sigma_{ij}^e + \sigma_{ij}^z = D_{ijkl} \epsilon_{kl} + \Phi g_{ij} \quad (6.13)$$

a záródási fázisban.

6.2. A Hu-Washizu-funkcionál egyenlőtlenségi mellékfeltételekkel

Tekintsük most a Hu-Washizu-funkcionál módosítását a képlékeny-záródó anyagi fázisváltozások miatti egyenlőtlenségi mellékfeltételekkel, azaz

$$\pi_{HW}(\epsilon_{ij}, u_i, \sigma_{ij}, r_i) = \text{stac}! \quad (6.14)$$

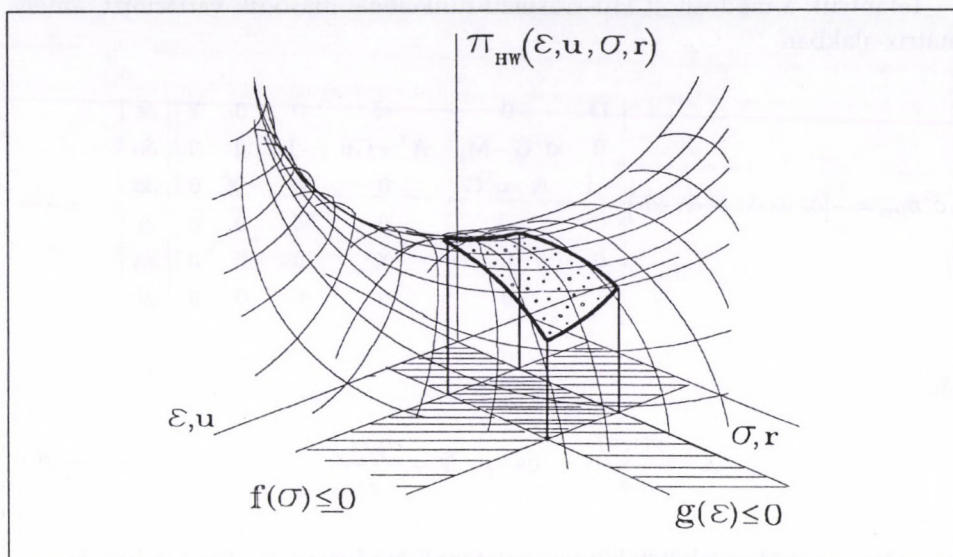
az

$$f(\sigma_{ij}) \leq 0 \quad \text{és} \quad g(\epsilon_{ij}) \leq 0 \quad (6.15)$$

egyenlőtlenségi mellékfeltételek mellett. Válasszunk egyenlőtlenségi Lagrange-szorókat az egyenlőtlenségi mellékfeltételekhez a fent mondottakkal összhangban: az $f(\sigma_{ij}) \leq 0$ képlékenységi feltételhez legyen $\Lambda \geq 0$, hogy $\Lambda f(\sigma_{ij}) = 0$ legyen, és a $g(\epsilon_{ij}) \leq 0$ záródási feltételhez $\Phi \geq 0$, hogy $\Phi g(\epsilon_{ij}) = 0$ legyen. Az új változókkal kiegészített Hu-Washizu-funkcionál most 6 mezőssé egészül ki:

$$\begin{aligned} \hat{\pi}_{HW}(\epsilon_{ij}, u_i, \sigma_{ij}, r_i, \Lambda, \Phi) = & \int_{V_0} W(\epsilon_{ij}) dV - \int_{V_0} (\lambda F_{i0} + f_i(u_j)) u_i dV - \\ & - \int_{S_{p0}} (\lambda P_{i0} + p_i(u_j)) u_i dS - \int_{V_0} \left(\epsilon_{ij} - \frac{1}{2} (u_{i,j} + u_{j,i} + u_{k,i} + u_{k,j}) \right) \sigma_{ij} dV - \\ & - \int_{S_{n0}} (u_i - (\mu V_{i0} + v_i(r_j))) r_i dS - \int_{V_0} \Lambda f(\sigma_{ij}) dV + \int_{V_0} \Phi g(\epsilon_{ij}) dV. \end{aligned} \quad (6.16)$$

A stacionaritási feltétel most variációs egyenlőtlenséget ad, mivel az előjelkorlátos $\Lambda \geq 0$ és $\Phi \geq 0$ változók nem variálhatók szabadon az R^6 térben:



12. ábra. A Hu-Washizu-funkcionál extremálása egyenlőtlenségi mellékfeltételekkel

$$\delta \hat{\pi}_{HW} = \left[\frac{\partial}{\partial \varepsilon_{ij}} \quad \frac{\partial}{\partial \sigma_{ij}} \quad \frac{\partial}{\partial u_i} \quad \frac{\partial}{\partial r_i} \quad \frac{\partial}{\partial \Lambda} \quad \frac{\partial}{\partial \Phi} \right] \hat{\pi}_{HW} \begin{bmatrix} \delta \varepsilon_{ij} \\ \delta \sigma_{ij} \\ \delta u_i \\ \delta r_i \\ \delta \Lambda \\ \delta \Phi \end{bmatrix} \leq 0, \quad (6.17)$$

amelyek az egyensúlyi és geometriai egyenleteket, továbbá az alábbi variációs egyenlőtlenségeket adják:

$$\delta \Lambda f(\sigma_{ij}) \leq 0 \quad \text{és} \quad \delta \Phi g(\varepsilon_{ij}) \leq 0. \quad (6.18)$$

Az egyenlőtlenségi mellékfeltételekkel módosított variációs elvet, amely kötött extrémum-problémának felel meg, szimbolikusan a 12. ábrán ábrázoltuk. A Hu-Washizu-felület extrémumát keressük a lehetséges megoldások tartományán, amelyet a $g(\varepsilon_{ij}) \leq 0$ és az $f(\sigma_{ij}) \leq 0$ egyenlőtlenségi feltételek korlátozzák. Az ábrából is látható, hogy a variációs egyenlőtlenségi problémára vezető stationaritási feltételek matematikai programozási feladatként kezelhetők.

Tekintsük a módosított Hu-Washizu-funkcionál második variációját, amely mátrix-alakban

$$\delta^2 \pi_{HW} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} \delta \varepsilon & \delta u & \delta \sigma & \delta r & \delta \Lambda & \delta \Phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{D} & \mathbf{0} & -\mathbf{I} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{Y} \\ \mathbf{0} & \sigma^T \mathbf{G} - \mathbf{M}_p & \mathbf{A}^T + \mathbf{G} \mathbf{u} & -\mathbf{I} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ -\mathbf{I} & \mathbf{A} + \mathbf{u}^T \mathbf{G} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & -\mathbf{X} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & -\mathbf{I} & \mathbf{0} & \mathbf{M}_v & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & -\mathbf{X}^T & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{Y}^T & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta \varepsilon \\ \delta u \\ \delta \sigma \\ \delta r \\ \delta \Lambda \\ \delta \Phi \end{bmatrix}, \quad (6.19)$$

ahol

$$\mathbf{X} = \frac{\partial \mathbf{f}(\sigma)}{\partial \sigma} \quad \text{és} \quad \mathbf{Y} = \frac{\partial \mathbf{g}(\varepsilon)}{\partial \varepsilon} \quad (6.20)$$

a folyási és záródási feltételi konvex halmazok gradiensei. A Hesse-mátrix konstrukciója most kiegészül e gradiensekkel:

\mathbf{D}	$\mathbf{0}$	$-\mathbf{I}$	$\mathbf{0}$	$\mathbf{0}$	\mathbf{Y}
$\mathbf{0}$	$\sigma^T \mathbf{G} - \mathbf{M}_p$	$\mathbf{A}^T + \mathbf{G} \mathbf{u}$	$-\mathbf{I}$	$\mathbf{0}$	$\mathbf{0}$
$-\mathbf{I}$	$\mathbf{A} + \mathbf{u}^T \mathbf{G}$	$\mathbf{0}$	$\mathbf{0}$	$-\mathbf{X}$	$\mathbf{0}$
$\mathbf{0}$	$-\mathbf{I}$	$\mathbf{0}$	\mathbf{M}_v	$\mathbf{0}$	$\mathbf{0}$
$\mathbf{0}$	$\mathbf{0}$	$-\mathbf{X}^T$	$\mathbf{0}$	$\mathbf{0}$	$\mathbf{0}$
\mathbf{Y}^T	$\mathbf{0}$	$\mathbf{0}$	$\mathbf{0}$	$\mathbf{0}$	$\mathbf{0}$

(6.21)

és az állapotváltozás-vizsgálat matematikai programozási feladatra vezet.

6.3. A matematikai programozási feladatok

A Hu-Washizu-funkcionál a fenti formában nem kezelhető, ezért elimináljuk a nem előjelkorlátos változókat, és így tisztán előjelkorlátos változók függvényében felírt variációs elvekhez jutunk, amelyek matematikai programozási feladatokat adnak.

Általános képlékeny-záruló anyagú szerkezet esetén

$$\pi_{KZ}(\Lambda, \Phi) = \frac{1}{2} [\Lambda \quad \Phi] \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Lambda \\ \Phi \end{bmatrix} + [\Lambda \quad \Phi] \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \end{bmatrix} = \text{stac!} \quad \begin{bmatrix} \Lambda \\ \Phi \end{bmatrix} \geq 0, \quad (6.22)$$

amely az általános aktivizálódási energia kvadratikusan funkcionálja, amely csak előjelkorlátos változókat tartalmaz. A stacionaritás feltétele variációs egyenlőtlenségre vezet:

$$\delta\pi_{KZ} = \delta[\Lambda \quad \Phi] \left(\begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Lambda \\ \Phi \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \end{bmatrix} \right) \leq 0, \quad (6.23)$$

amely egyenértékű a

$$\delta[\Lambda \quad \Phi] \begin{bmatrix} f \\ g \end{bmatrix} \leq 0 \quad (6.24)$$

feltétellel, mivel az előjelkorlátos $\Lambda \geq 0$ és $\Phi \geq 0$ változók nem variálhatók szabadon az R^6 térben, ugyanis

$$\text{ha } \begin{bmatrix} f \\ g \end{bmatrix} < 0, \text{ akkor } \delta \begin{bmatrix} \Lambda \\ \Phi \end{bmatrix} > 0, \quad (6.25)$$

azonban

$$\text{ha } \begin{bmatrix} f \\ g \end{bmatrix} = 0, \text{ akkor } \delta \begin{bmatrix} \Lambda \\ \Phi \end{bmatrix} \text{ tetszőleges.} \quad (6.26)$$

Az aktivizálódási energia fenti kifejezésében az együttható mátrixának blokkjai a nem előjelkorlátos változók eliminálása során keletkező együtthatókat tartalmazzák. A stacionaritás feltétele pedig nem más, mint:

$$\begin{bmatrix} f \\ g \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Lambda \\ \Phi \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \end{bmatrix}. \quad (6.27)$$

A feladatnak az alábbi lineáris komplementer probléma felel meg:

$$LC: \left\{ \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Lambda \\ \Phi \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} f \\ g \end{bmatrix} = 0 \quad \begin{bmatrix} \Lambda \\ \Phi \end{bmatrix} \geq 0, \begin{bmatrix} f \\ g \end{bmatrix} \leq 0, [\Lambda \quad \Phi] \begin{bmatrix} f \\ g \end{bmatrix} = 0 \right\}. \quad (6.28)$$

Természetesen a $\pi_{KZ}(\Lambda, \Phi)$ funkcionál nyeregfelületet reprezentál, hiszen hibrid elvhez tartozik, és reguláris esetben a megoldási pontban Λ felett minimuma,

Φ felett maximuma van.

A fenti hibrid elv tiszta változatait az alábbi speciális esetek adják. Rugalmas-képlékeny állapotváltozás-vizsgálat esetén

$$\pi_{HW}(\Lambda) = \max! \quad \Lambda \geq 0, \quad (6.29)$$

míg rugalmas-záródási állapotváltozás-vizsgálat esetén

$$\pi_{HW}(\Phi) = \min! \quad \Phi \geq 0. \quad (6.30)$$

A vonatkozó lineáris komplementer problémák pedig:

$$LC_{\Phi}: \left\{ Z_{11}\Lambda + z_1 - f = 0 \mid \Lambda \geq 0, \quad f \leq 0, \quad \Lambda^T f = 0 \right\} \quad (6.31)$$

és

$$LC_{\Phi}: \left\{ Q_{11}\Phi + q_1 - g = 0 \mid \Phi \geq 0, \quad g \leq 0, \quad \Phi^T g = 0 \right\} \quad (6.32)$$

7. A nemlinearitások hatásának illusztrációi, alkalmazások

A továbbiakban a különféle nemlinearitások hatását mutatjuk meg az alkalmazás szintjén. Egyedi és halmozott nemlinearitások szerepét egyaránt elemezzük.

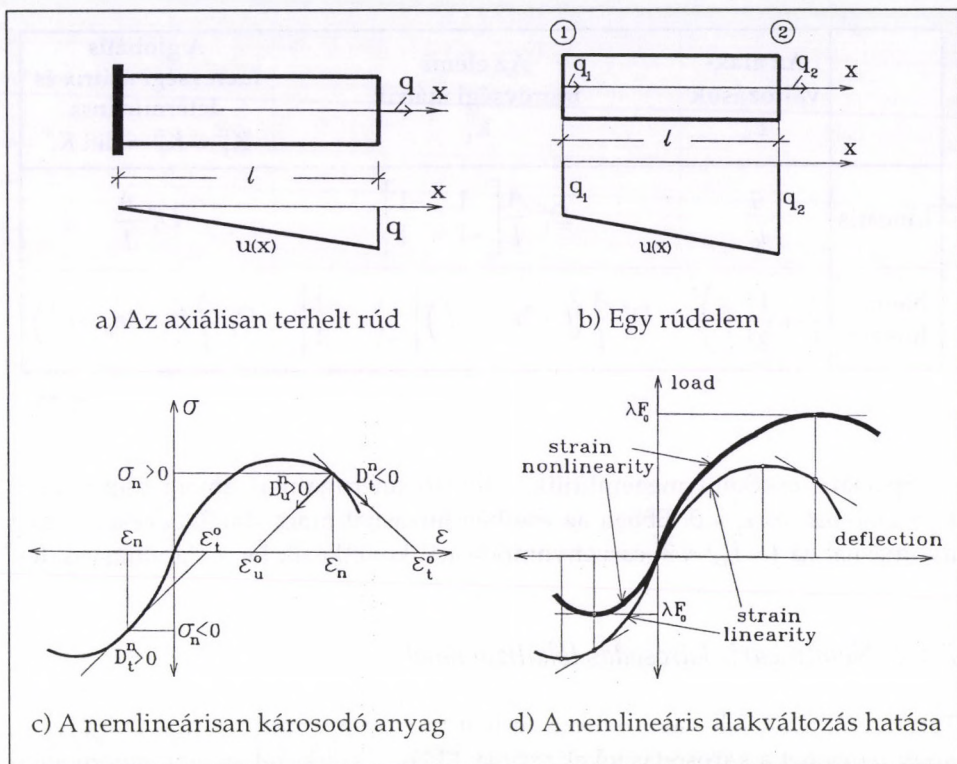
7.1. Nemlineáris alakváltozások hatása nemlineárisan károsodó anyagú axiálisan terhelt rúdnál

Példaként vegyük a legegyszerűbb szilárdságtani feladat, az axiálisan terhelt, centrikusan húzott-nyomott rúd esetét. A feladatot Sluys (1997) is elemezte, lineáris alakváltozások mellett. A példa kiválóan alkalmas az alakváltozási nemlinearitás hatásának szemléltetésére.

7.1.1. Nemlineáris károsodás lokalizáció nélkül

Tekintsük először a homogén rudat, amelynek anyaga nemlineárisan lágyuló, vagyis károsodó (damage), lokalizáció nélkül. Klasszikus teher működik a szerkezetre (dead load). Elemezzük az alakváltozási nemlinearitás hatását!

A 13.a. és b. ábra magát az axiális megoszló teherrel terhelt rudat és annak vége-selemes modelljét mutatja. A 13.c. ábrán látható a nemlineárisan károsodó



13. ábra. Az alakváltozási nemlinearitás hatása axiálisan terhelt nemlineárisan károsodó anyagi rúdnál

anyag függvénye. A homogén anyagi viselkedés miatt a szerkezetet egyetlen végelemként kezelhetjük, ahol $q_1 = 0$ és $q_2 = q$. Ennek megfelelően a lineáris és nemlineáris alakváltozások feltételezésével nyert eredményeket a táblázatban és a 13.d. ábrán hasonlítjuk össze.

Megállapítható, hogy alakváltozási linearitás mellett csak határpontos stabilitásvesztés következhet be, mert ekkor a stabilitásvesztés csak az anyag függvénye, és az ettől eltérő esetek csak alakváltozási nemlinearitás mellett vizsgálhatók. Az alakváltozási nemlinearitás húzásnál stabilizál, nyomásnál destabilizál. Húzásnál az anyagfüggvény határpontja után következik be a stabilitásvesztés, a lineáris alakváltozáshoz tartozó tehernél magasabb teherszinten. Nyomásnál ez éppen fordítva történik, határpont előtti stabilitásvesztés következik be, a lineáris alakváltozáshoz tartozónál alacsonyabb teherszinten.

	Az alak- változások E_n	Az elemi merevségi mátrix K_t^n	A globális merevségi mátrix és determinánsa $K_t^n = K_t = \det K_t^n$
Lineáris	$\frac{q}{l_0}$	$D_t^n \frac{A}{l} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}$	$D_t^n \frac{A}{l}$
Nem- lineáris	$\frac{q}{l_0} + \frac{1}{2} \left(\frac{q}{l_0} \right)^2$	$D_t^n \frac{A}{l} (1 + 3\varepsilon_n - \varepsilon_t^0) \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}$	$D_t^n \frac{A}{l} (1 + 3\varepsilon_n - \varepsilon_t^0)$

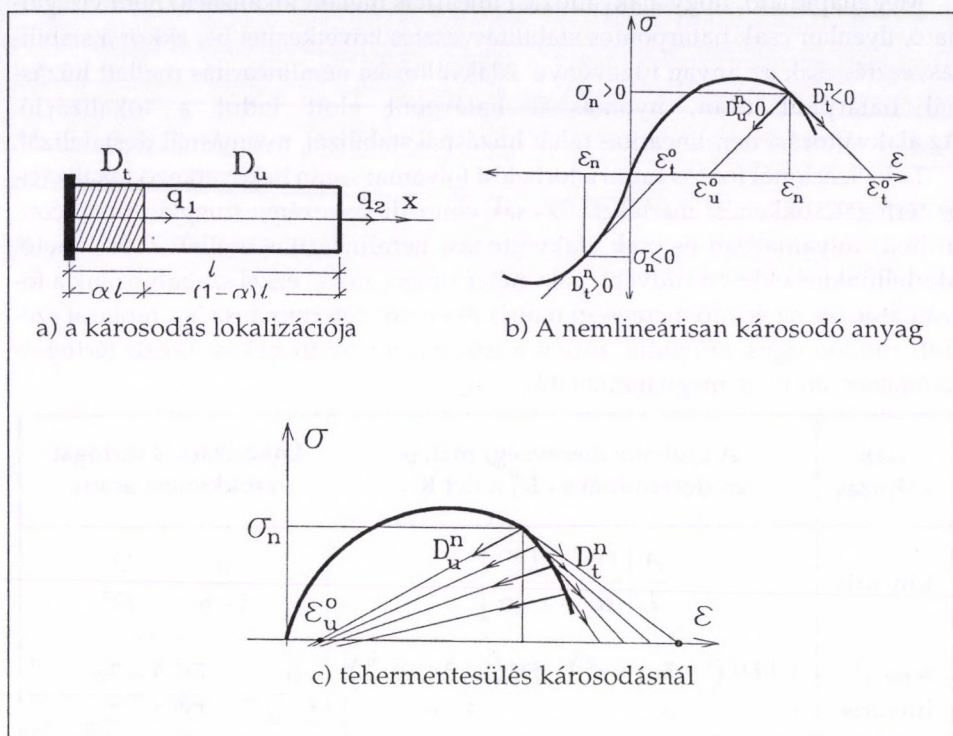
(7.1)

Speciális esetként megemlíjtük a lineárisan rugalmas anyag esetét, ahol $D_t^n = D = \text{const.}$ és $\varepsilon_t^0 = 0$. Ebben az esetben húzásnál nincs stabilitásvesztés, míg nyomásnál az $l = l_0 / \sqrt{3}$ összenyomódásnál következik be a stabilitásvesztés.

7.1.2. Nemlineáris károsodás lokalizációval

Tételezzük most fel – az axiálisan terhelt (húzott-nyomott) rúdnál maradva –, hogy létrejöhet a károsodás lokalizációja. Ekkor a szerkezet anyaga inhomogén-né válik, mert károsodó és tehermentesülő részre oszlik, amint azt a 14.a. ábra mutatja. A károsodó rész térfogata egyre csökken, egyre kisebb tartományra lokalizálódik, amint a károsodás előrehalad a 14.c. ábra szerint. Ugyanakkor a tehermentesülő részen felszabaduló energia a stabilitás fennmaradását eredményezheti a tönkrement anyag ellenére.

A 13.b. ábra szerinti végeselem-modellt alkalmazva, eredményeinket az alábbi (7.2) összehasonlító táblázat mutatja:



14. ábra. Az alakváltozási nemlinearitás hatása axiálisan terhelt rúd lokalizációjánál

Alak- változás	Globális merevségi mátrix K_t^n	Globális merevségi mátrix determinánsa: $\det K_t^n$
Lineáris	$\frac{A}{l} \left\{ \frac{D_t^n}{\alpha} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} + \frac{D_u^n}{1-\alpha} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \right\}$	$\frac{A^2}{l^2} \frac{D_t^n D_u^n}{\alpha(1-\alpha)}$
Nem- lineáris	$\frac{A}{l} \left\{ \frac{D_t^n (1 + 3\varepsilon_n - \varepsilon_t^0)}{\alpha} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} + \frac{D_u^n (1 + 3\varepsilon_n - \varepsilon_t^0)}{1-\alpha} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \right\}$	$\frac{A^2}{l^2} \frac{D_t^n D_u^n}{\alpha(1-\alpha)} (1 + 3\varepsilon_n - \varepsilon_t^0) (1 + 3\varepsilon_n - \varepsilon_u^0)$

(7.2)

Megállapítható, hogy alakváltozási linearitás mellett lokalizáció nem vizsgálható, ilyenkor csak határpontos stabilitásvesztés következhet be, ekkor a stabilitásvesztés csak az anyag függvénye. Alakváltozási nemlinearitás mellett húzásnál határpont után, nyomásnál határpont előtt indul a lokalizáció. Az alakváltozási nemlinearitás tehát húzásnál stabilizál, nyomásnál destabilizál.

Lokalizációnál fontos tudni a terhelési folyamat során bekövetkező lokalizációs térfogatcsökkenési mértéket. Ez csak elmozdulásvezérelt (displacement controlled) folyamatban és csak alakváltozási nemlinearitás mellett elemezhető. Modellünkénél ekkor a rúdvégi paraméter ismert, mivel ezzel szabályozzuk a folyamatot, így az érintő merevségi mátrix és annak determinánsa is a táblázat szerinti módon egyszerűsödik. Innen a lokalizáció során bekövetkező térfogatcsökkenési arány is meghatározható.

Alak- változás	A globális merevségi mátrix és determinánsa $K_t^n = \det K_t^n$	Lokalizációs térfogat- csökkenési arány
Lineáris	$\frac{A}{l} \left\{ \frac{D_t^n}{\alpha} + \frac{D_u^n}{1-\alpha} \right\}$	$\frac{\alpha}{1-\alpha} \geq -\frac{D_t^n}{D_u^n}$
Nem- lineáris	$\frac{A}{l} \left\{ \frac{D_t^n (1 + 3\varepsilon_n - \varepsilon_t^0)}{\alpha} + \frac{D_u^n (1 + 3\varepsilon_n - \varepsilon_u^0)}{1-\alpha} \right\}$	$\frac{\alpha}{1-\alpha} \geq -\frac{D_t^n}{D_u^n} \frac{1 + 3\varepsilon_n - \varepsilon_t^0}{1 + 3\varepsilon_n - \varepsilon_u^0}$

(7.3)

Megállapíthatjuk, hogy a károsodási méretérzékenység elemzéséhez alakváltozási nemlinearitás figyelembevétele szükséges.

7.1.3. Nemlineáris károsodás lokalizáció nélkül, elmozdulásfüggő terheléssel

Az axiálisan terhelt (húzott-nyomott) rúd előbbi példájánál maradván alkalmazunk most lineáris elmozdulásfüggő terhet a nemlineárisan károsodó anyagú rúdon, lineáris és nemlineáris alakváltozás figyelembevételével.

A lokalizációmentes homogén rúdra vonatkozó eredményeket az alábbi táblázat mutatja:

	<p>Globális merevségi mátrix és determinánsa</p> $\mathbf{K}_n^t = K_n^t = \det K_n^t$
Lineáris	$D_t^n \frac{A}{l} - M_t^n \frac{Al}{3}$
Nem-lineáris	$D_t^n \frac{A}{l} (1 + 3\varepsilon_n - \varepsilon_t^0) - M_t^n \frac{Al}{3}$

(7.4)

Megállapíthatjuk, hogy az elmozdulásfüggő teher destabilizál (stabilizál), ha érintő modulusa pozitív (negatív). Éppen ezért elmozdulásfüggő teher esetén már alakváltozási linearitás mellett is a határpontos stabilitásvesztéstől eltérő esetek is előfordulhatnak, mivel a teher destabilizáló (stabilizáló) hatása érvényesül. Fontos megjegyezni, hogy az elmozdulásfüggő teher hatása független az alakváltozásoktól, így azok linearitási tulajdonságaitól is.

7.1.4. Nemlineáris károsodás lokalizációval, elmozdulásfüggő teherrel

A lokalizáció miatti inhomogén rúd eredményeit az alábbi táblázatban tüntettük fel:

Alak-változás	<p>Globális merevségi mátrix</p> \mathbf{K}_t^n
Lineáris	$\frac{D_u^n}{1-\alpha} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} - \frac{M_t^n l^2}{6} \begin{bmatrix} 2 & 1-\alpha \\ 1-\alpha & 2(1-\alpha) \end{bmatrix}$
Nem-lineáris	$\frac{A}{l} \left\{ \frac{D_t^n (1 + 3\varepsilon_n - \varepsilon_t^0)}{\alpha} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} + \frac{D_u^n (1 + 3\varepsilon_n - \varepsilon_u^0)}{1-\alpha} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} - \frac{M_t^n l^2}{6} \begin{bmatrix} 2 & 1-\alpha \\ 1-\alpha & 2(1-\alpha) \end{bmatrix} \right\}$

(7.5)

Következtetésként leszögezhetjük, hogy az elmozdulásfüggő teher befolyásolja a stabilitásvesztést, a lokalizáció kezdetét és lejátszódását egyaránt. Érintő modulusának előjelétől függ a befolyás iránya.

7.2. Nemlineáris elmozdulások és alakváltozások alkalmazása lineárisan rugalmas anyagú szerkezetek tökéletlenség-érzékenység-vizsgálatánál

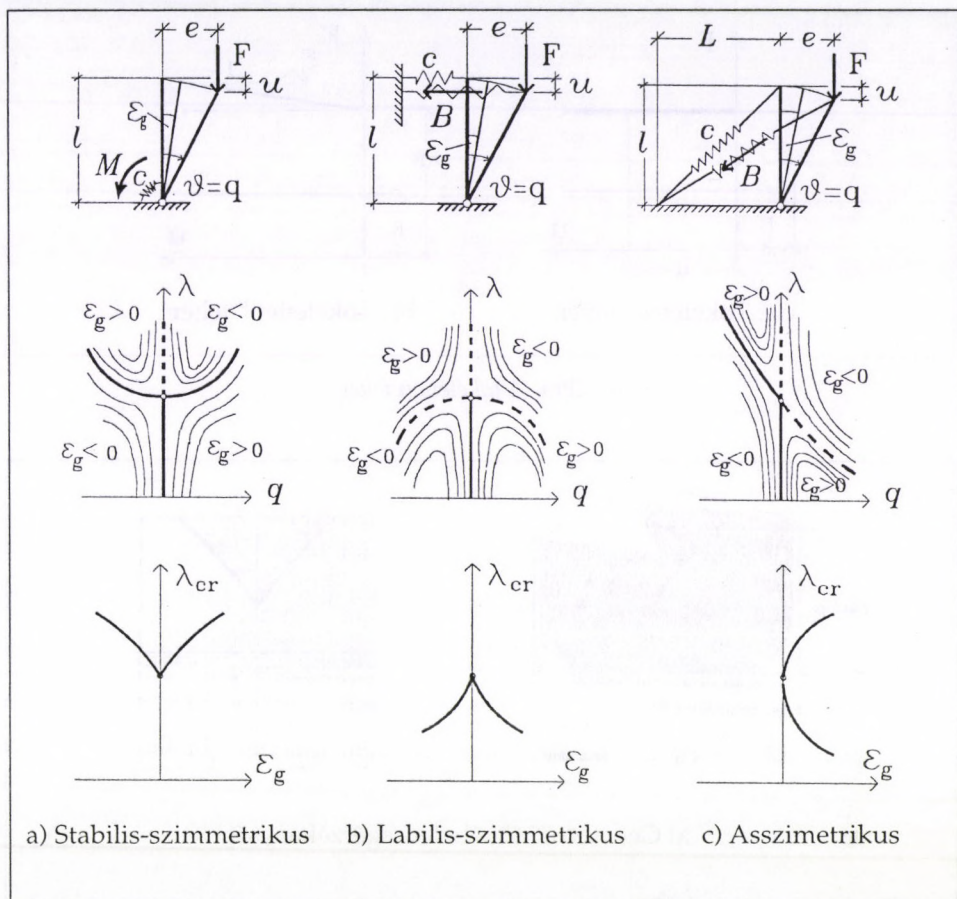
A továbbiakban a geometriai nemlinearitás fontosságát emeljük ki a klasszikus stabilis-szimmetrikus, labilis-szimmetrikus és aszimmetrikus elágazási feladatok tökéletlenség-érzékenység vizsgálatánál. A feladat érdekessége, hogy egyrészt globális vizsgálatot végzünk, kiterjesztve az elemzést a teljes lehetséges geometriai tartományra, másrészt figyelembe vesszük a teher tökéletlenségét.

A 15. ábra a három klasszikus bifurkációs modellt mutatja, a vonatkozó klasszikus egyensúlyi utakkal és a klasszikus geometriai tökéletlenségérzékenységi görbékkel. A 16. ábrán rajzoltuk fel a teher tökéletlenségének értelmezését. Gyakran fordul elő, hogy a teher nem tökéletesen független a szerkezet elmozdulásaitól, amint azt fentebb az elmozdulásfüggő konzervatív teher értelmezésénél ismertettük. Mivel ez nem radikális hatás, közelebb járunk a valósághoz, ha ezt a jelenséget a teher tökéletlenségeként értelmezzük a 16. ábra szerint.

A 17–22. ábrákon Kurutz (1999a) elemzése alapján a stabilis-szimmetrikus, a labilis-szimmetrikus és az aszimmetrikus elágazási modell geometriai és terhelési tökéletlenségérzékenységének kölcsönhatását ábrázoltuk. A bal oldali ábrákon minden esetben a tökéletlen szerkezet egyensúlyi felületét tüntettük fel, míg a jobb oldali ábrákon a vonatkozó tökéletlenség-érzékenységi függvényt ábrázoltuk. Az *a* ábrákon a tisztán geometriailag tökéletlen szerkezet, míg a *b* ábrán annak teher-tökéletlenséggel befolyásolt változata szerepel. A *c* ábrákon a tisztán terhelési szempontból tökéletlen, míg a *d* ábrákon annak geometriai tökéletlenségtől befolyásolt változata látható. Valamennyi tökéletlenségérzékenységi függvény ugyanannak a ráncolt, többértékű, kétváltozós geometriai-terhelési tökéletlenségérzékenységi felületnek a különböző értékekhez tartozó metszete.

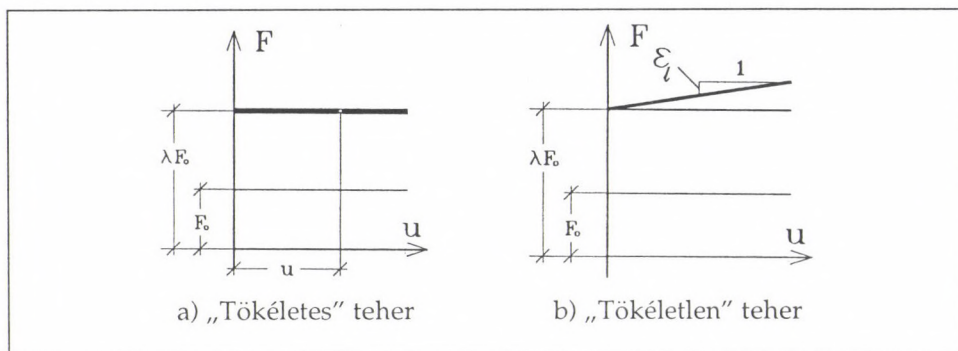
A globális vizsgálatra az adott lehetőséget, hogy a pontos, nemlineáris geometriát alkalmaztuk, azaz az erő alatti elmozdulásfüggvényt a pontos trigonometrikus függvény formájában használtuk, továbbá az alakváltozást jelentő rugódeformációt ugyancsak a pontos trigonometrikus alakjukban vettük figyelembe.

Sajnos azonban – éppen a pontos analízisnek köszönhetően – nem tudjuk sem felírni, sem felrajzolni ezt a kettős tökéletlenséget tartalmazó többértékű függvényt. Ezt a nehézséget hidalja át a modern katasztrófaelmélet.

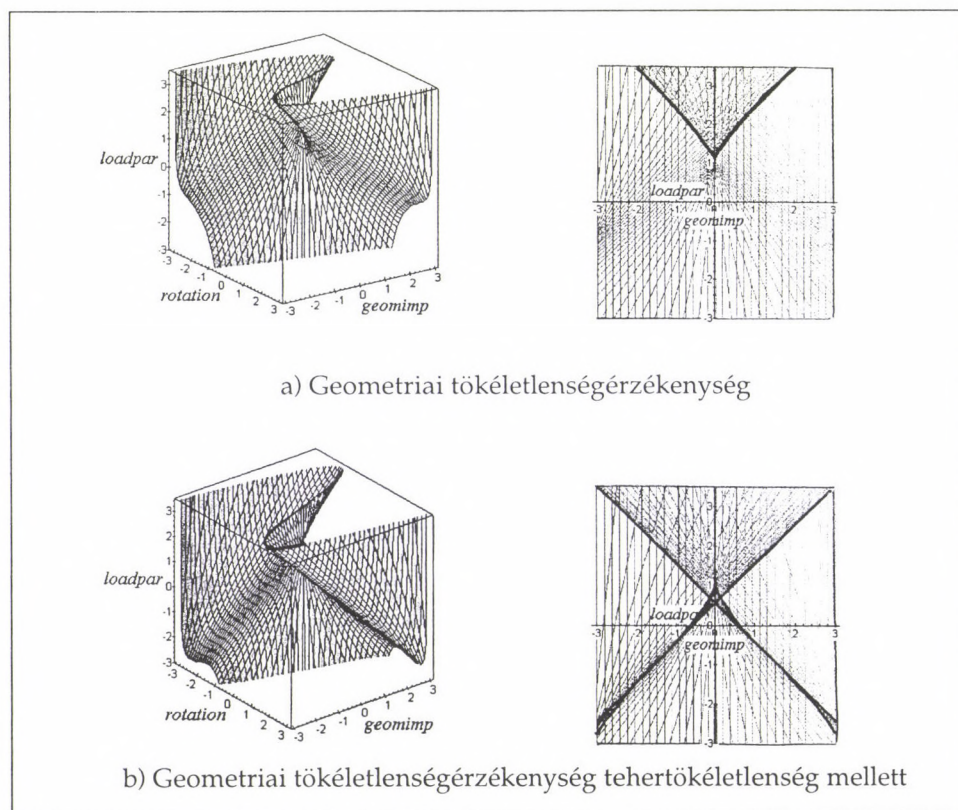


15. ábra. Klasszikus geometriai tökéletlenségérzékenység vizsgálata nemlineáris elmozdulás és alakváltozás mellett

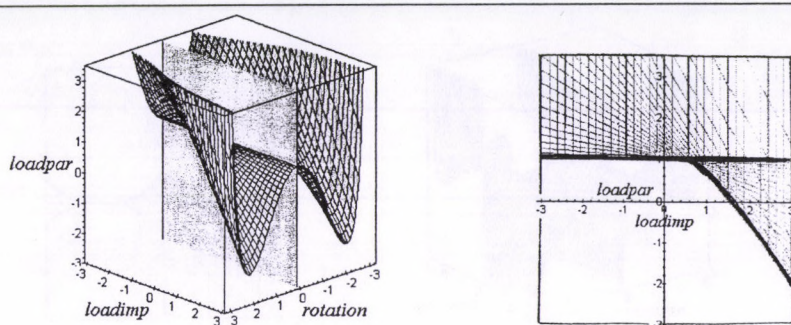
A katasztrófaelmélet sorfejtésen alapszik, tehát közelítést alkalmaz, ráadásul lokális vizsgálatot jelent. Kurutz és Gáspár (1998) elemzése, amely a stabilis-szimmetrikus elágazási modell geometriai-terhelési tökéletlenségérzékenységének a vizsgálatára vonatkozik, igazolta azt, hogy a katasztrófaelmélet alkalmazása a pontos megoldással topológiailag azonos eredményre vezet, és kváziglobális vizsgálatnak tekinthető. A vizsgált jelenség pillangó-katasztrófát eredményez, amelyhez tartozó tökéletlenségérzékenységi felületet a 23. ábra mutatja. A 23. ábrán látható felület megfelelő metszetei a 17. ábra tökéletlenségérzékenységi görbéivel topológiailag azonosak.



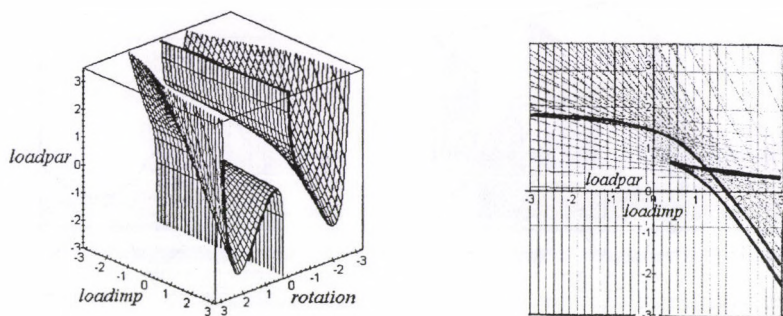
16. ábra. A tökéletlen teher



17. ábra. A stabilis-szimmetrikus elágazási modell geometriai tökéletlenségérzékenységi vizsgálata elmozdulási és alakváltozási nemlinearitás mellett



a) Terhelési tökéletlenségérzékenység

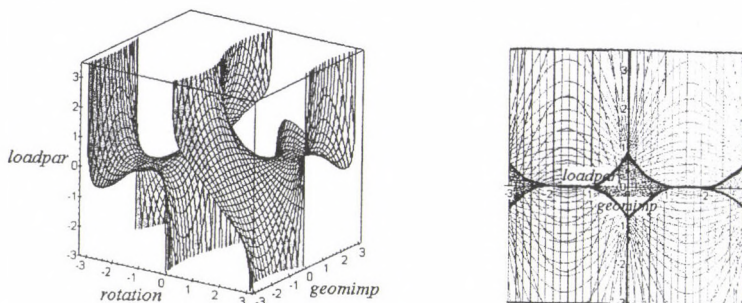


b) Terhelési tökéletlenségérzékenység
geometriai tökéletlenség mellett

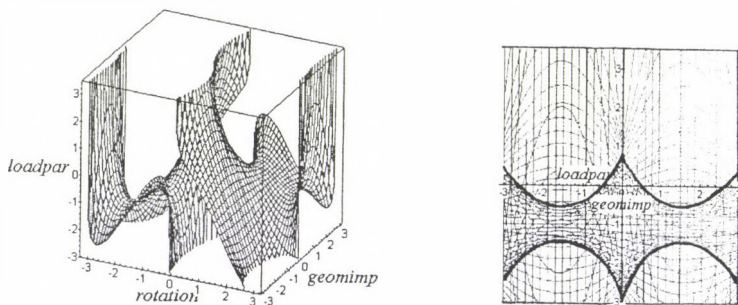
18. ábra. A stabilis-szimmetrikus elágazási modell terhelési tökéletlenségérzékenységi vizsgálata elmozdulási és alakváltozási nemlinearitás mellett

7.3. Anyagi és geometriai nemlinearitás: rugalmas-képlékeny állapot-változás-vizsgálat

Fizikailag nemlineáris szerkezetek állapotváltozás-vizsgálatánál a számítógépek és a numerikus módszerek fejlődésének korai szakaszában gondot jelentett, hogy a szerkezet merevségi mátrixát lépésenként módosítani és invertálni kellett. Ennek a problémának a megoldására dolgoztunk ki hatékony módszert a kinematikai terhek segítségével. Kurutz (1975) eredményei nyomán készült a 24. ábrán látható illusztráció, amelynél a szerkezet merevségének változását kinematikai terhekkel szimuláljuk. Az egyes szerkezeti csomópontok, szakaszok képlékeny vagy záródó, tehermentesülő vagy újratelhelődő volta a szerkezeti merevség lé-



a) Geometriai tökéletlenségérzékenység

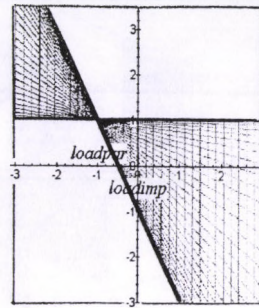
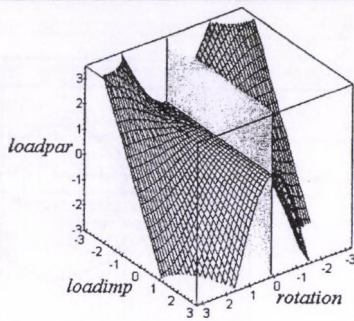


b) Geometriai tökéletlenségérzékenység
teher-tökéletlenség mellett

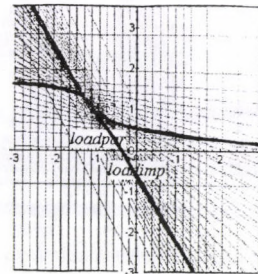
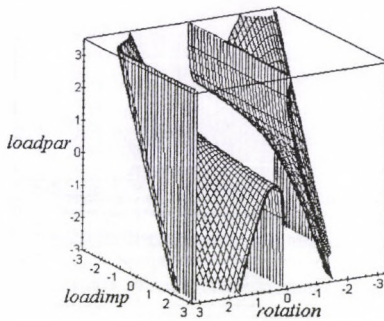
19. ábra. A labilis-szimmetrikus elágazási modell geometriai tökéletlenségérzékenységi vizsgálata elmozdulási és alakváltozási nemlinearitás mellett

pésenkénti megváltozását eredményezi. Ha ezeket a változásokat kinematikai teherként tesszük a szerkezetre, akkor elegendő az egyes lépésekben a tehervektort változtatni, s az egész eljárás az eredeti merevségi mátrix alapján bonyolítható le. Ez az eljárás a maga idejében jelentős gépidő-megtakarítást jelentett.

A 25. ábrán a képlékeny zóna kialakulásának lépéseit láthatjuk lemezek rugalmas-képlékeny vizsgálatánál Lovas (1989) eredményei alapján. A végeelem-mo-
dell réteges lemezt alkalmaz, az egyes rétegekben más és más anyagi állapotot feltételezve. A nemlineáris, rugalmas-képlékeny anyagi viselkedés miatt bekövetkező állapotváltozás az alkalmazott módszerrel jól követhető.



a) Terhelési tökéletlenségérzékenység



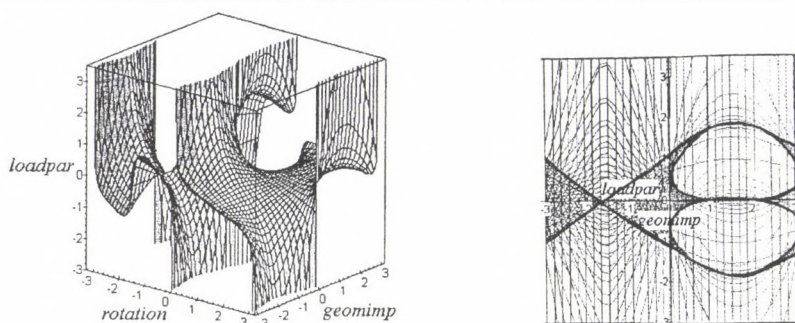
b) Terhelési tökéletlenségérzékenység
geometriai tökéletlenség mellett

20. ábra. A labilis-szimmetrikus elágazási modell terhelési tökéletlenségérzékenységi vizsgálata elmozdulási és alakváltozási nemlinearitás mellett

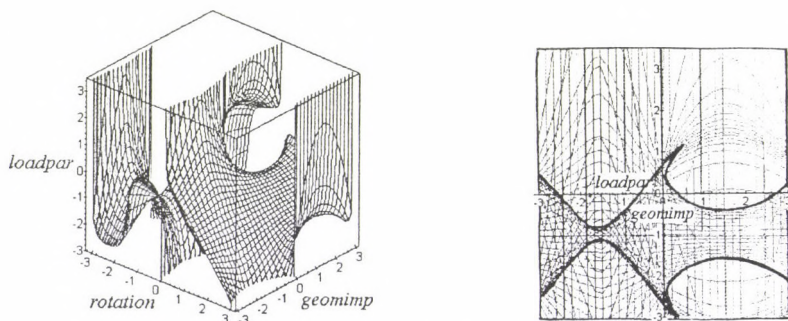
7.4. Markáns geometriai nemlinearitás: globális egyensúlyi utak, mechanizmusok

A 26. ábra egy egyszerű mechanizmus mozgását mutatja Hortobágyi (1998) eredménye nyomán, térrácsok stabilitásvesztése utáni mozgásának modellezése céljából. Mechanizmusok elemzésénél a geometriai nemlinearitásnak markáns szerepe van.

A 27. ábra egy egyszerű, ideálisan rugalmas, axiálisan terhelt rúd globális egyensúlyi útjait mutatja Domokos (1994) munkája nyomán. A pontos nemlineá-



a) Geometriai tökéletlenségérzékenység

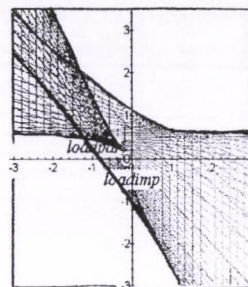
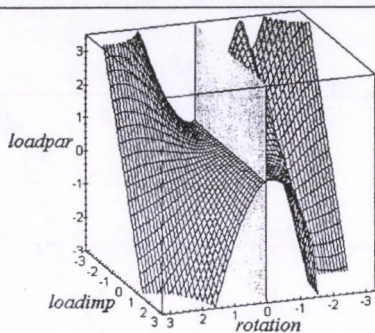


b) Geometriai tökéletlenségérzékenység
tehertökéletlenség mellett

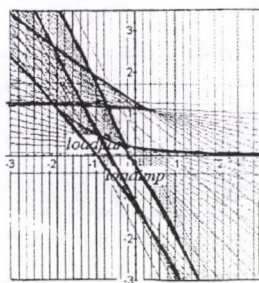
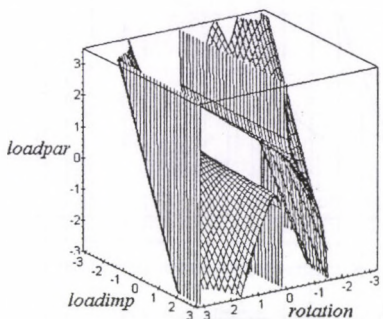
21. ábra. Az aszimmetrikus elágazási modell geometriai tökéletlenségérzékenységi vizsgálata elmozdulási és alakváltozási nemlinearitás mellett

ris geometria segítségével megrajzolhatók az első-, másod-, harmadlagos, sőt további származtatott egyensúlyi utak is.

A 28. ábrán Thompson és Gáspár (1977) azt vizsgálta, hogy a köldökszerű katasztrófák milyen formációi alakulnak ki attól függően, hogy a három ideális rugóval megtámasztott merev rúdnál milyen szögben helyezzük el a rugókat. Ez a feladat a kezdeti geometria hatásának a fontosságára mutat rá.

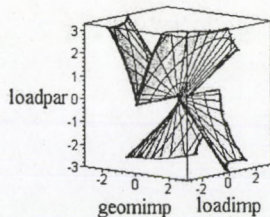
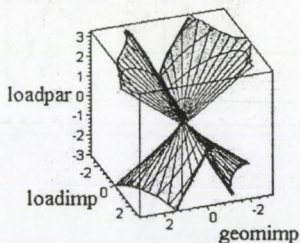


a) Terhelési tökéletlenségérzékenység

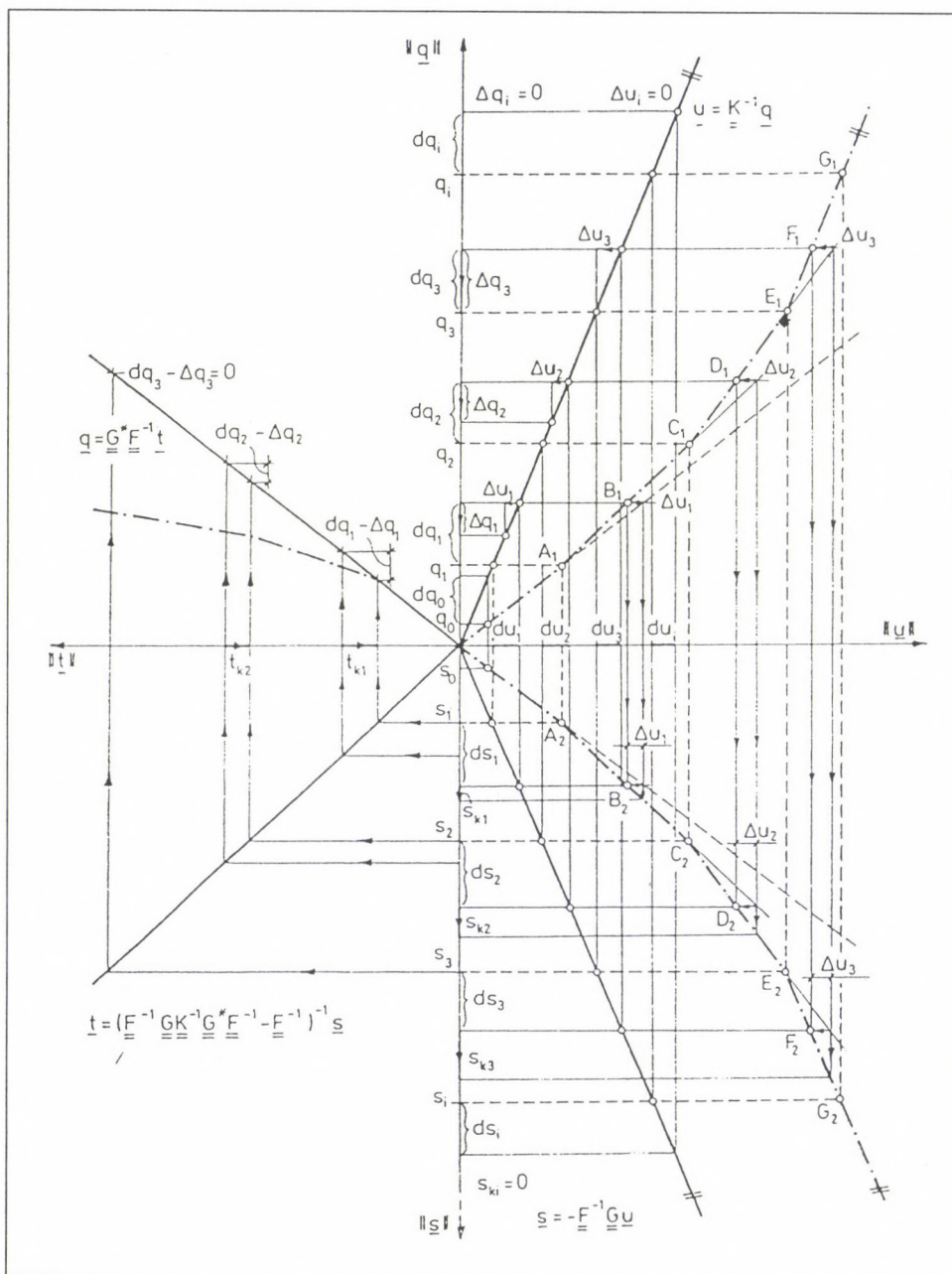


b) Terhelési tökéletlenségérzékenység
geometriai tökéletlenség mellett

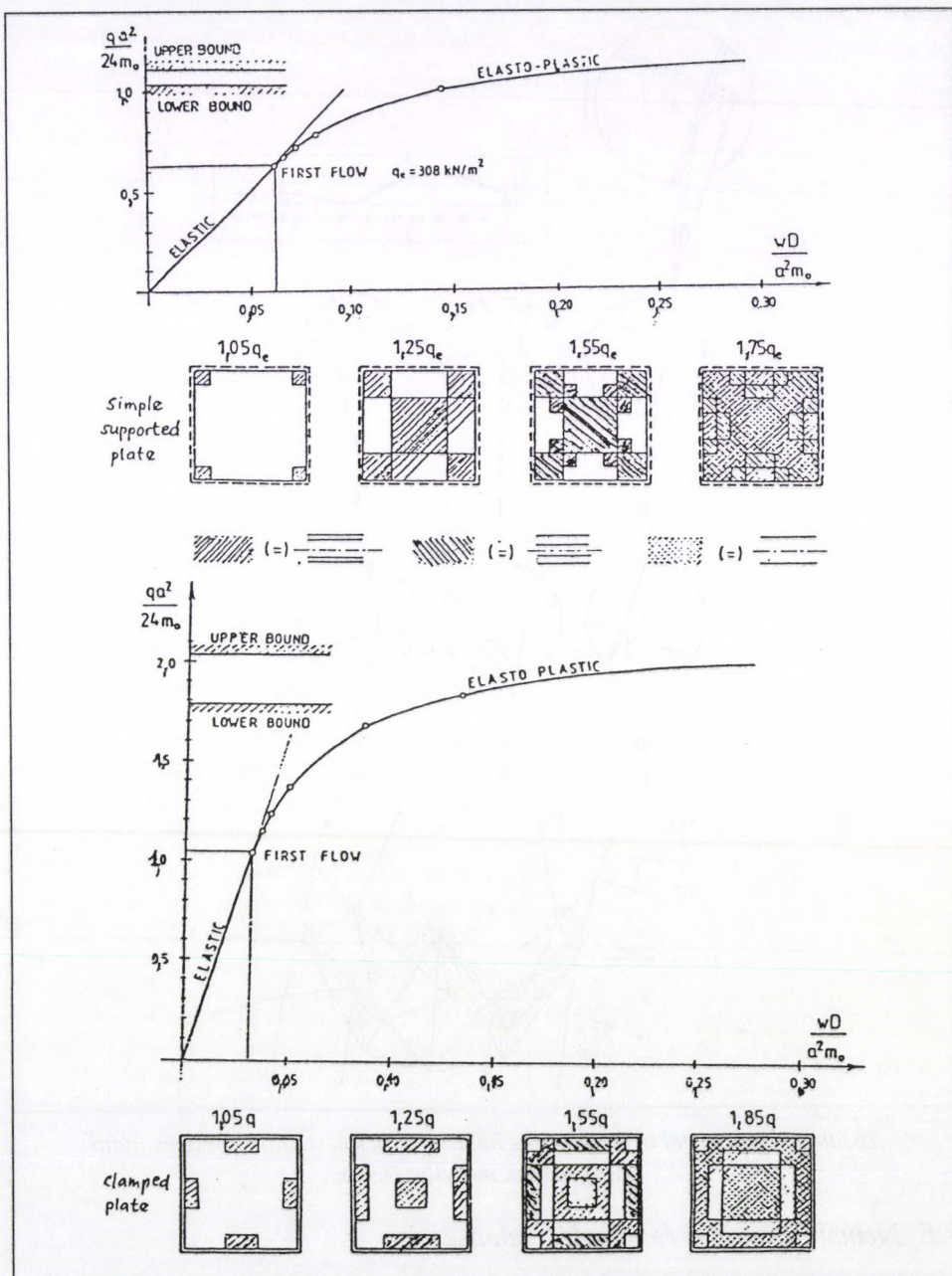
22. ábra. Az aszimmetrikus elágazási modell geometriai és terhelési tökéletlenségérzékenységi vizsgálata elmozdulási és alakváltozási nemlinearitás mellett



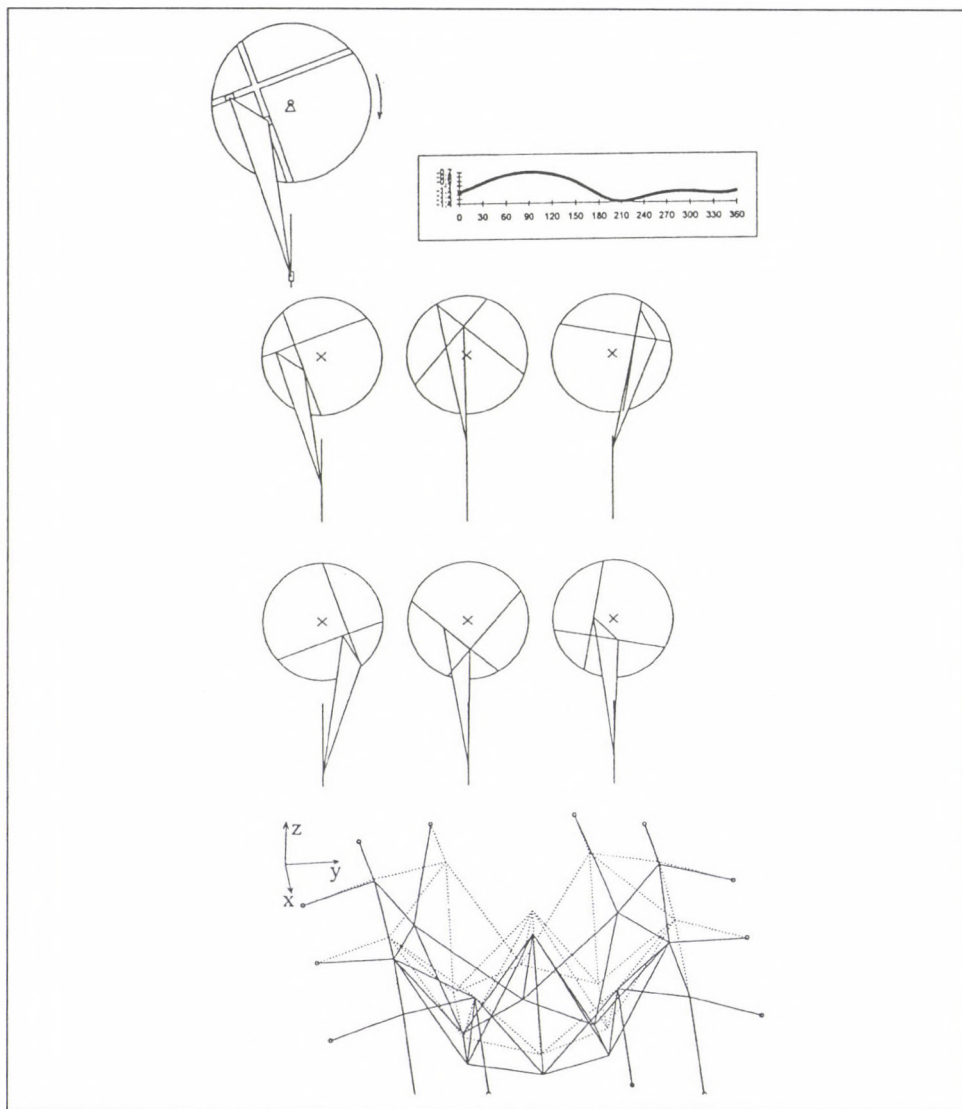
23. ábra. A szimmetrikus elágazási modell geometriai és terhelési tökéletlenségérzékenységi vizsgálata katasztrófaelmélettel. A pillangókatasztrófa



24. ábra. Szerkezeti nemlineáris merevségváltozás szimulálása kinematikai terhekkel



25. ábra. Anyagi-szerkezeti nemlinearitás: a képlékeny zóna terjedése lemezekben



26. ábra. Geometriai nemlinearitás hatása térrácsok stabilitásvesztés utáni mozgásának modellezésében

7.5. Nemsima anyagi és terhelési jelenségek

A nemsima, poligonális anyagi viselkedés illusztrációjára szolgáljon a 29. ábra, ahol a klasszikus stabilis-szimmetrikus elágazási feladat egyensúlyi útját és érin-

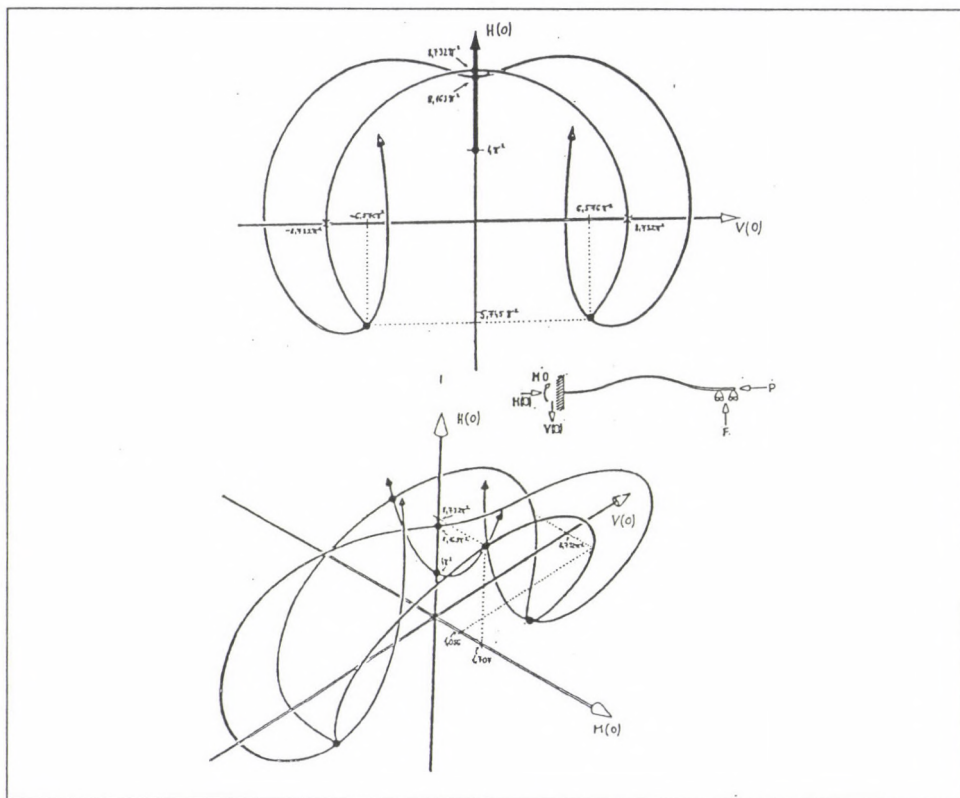
tő merevségi függvényét tüntettük fel Kurutz (1993, 1994, 1996) munkái alapján. A nemsima anyagú szerkezet egyensúlyi útja a poligont alkotó egyes – önmagukban sima – szakaszokhoz tartozó egyensúlyi utak burkológörbéje. Anyagi lágyulás esetén alsó, szilárdulás esetén felső burkológörbe alkotja az egyensúlyi utat. A vonatkozó érintő merevség többértékű függvény, a nemsimaságot jelentő pontokban véges – esetenként végtelen – ugrásokat tartalmaz.

7.6. Szerkezeti kapcsolati nemlinearitások

A 30. ábra szemcsehalmozok numerikus modellezésének eredménye Bagi (1997) munkája nyomán. A granuláris anyagok vizsgálatára alkalmazott modell nemlineáris feltételes kapcsolatokat alkalmaz az egyes szemcsék között, továbbá a szemcsék mozgása során nemlineáris geometriát feltételez. Az ábrán látható állapotképen a fehér vonalak vastagsága a szemcsék közötti erők nagyságával arányos.

Fontos és a nagy paneles épületek előregedésével napjainkban egyre inkább előtérbe kerül a panelek összeerősítési kapcsolatainak, az úgynevezett panelcsomópontoknak a viselkedése. A panelek hosszirányú kapcsolatai alapvetően két csoportot alkotnak: a függőleges helyzetű nyírt kapcsolatokat és a vízszintes helyzetű húzott kapcsolatokat. A pontszerű kapcsolatok külön osztályt képeznek. A panelcsomópontoknak számtalan változata van, ezért numerikus célokra fontos feladat volt egy megközelítőleg egységes viselkedési jelleggörbe meghatározása. Különös jelentőséget kapott a csomópontok duktilitásának (energiaelnyelő képességének) a kimutatása, hiszen ennek perdöntő szerepe van, ha a szerkezetet rendkívüli hatások (pl. földrengés vagy gázrobbanás) érik. Andor és Kurutz (1985) kiterjedt elemzést végzett a nemzetközi szakirodalomban elérhető kísérleti eredmények alapján. A 31. ábrán a nyírt csomópont tipikus nemlineárisan károsodó viselkedését, valamint a vonatkozó energiaelnyelő idealizált diagramot látjuk.

Talán kissé furcsa az emberi gerincoszlop csigolyái közötti kapcsolatot szerkezeti kapcsolatnak tekinteni, azonban a biomechanikai kutatások erre lehetőséget adnak. Csaknem fél évszázada népszerű hazánkban a súlyfürdőkezelés mint Moll Károly magyar találmánya, nemzetközileg egyáltalán nem ismerik, és hazánkban is megoszlanak a vélemények a hatásait illetően. Ennek a problémának a vizsgálatára az ORFI orvosaiból és a BME mérnökeiből biomechanikai kutatócsoport alakult. A kísérleti vizsgálatok jelenleg is folynak, s a 32. ábrán látható eredmények még csak előzetesnek tekinthetők. Kurutz, Bene, Lovas, Monori és Molnár (1999b) víz alatti ultrahangos méréssel követik a gerinc lumbális 3., 4. és 5. csigolyái közötti távolság változását, a súlyfürdő során a teher, az idő és még

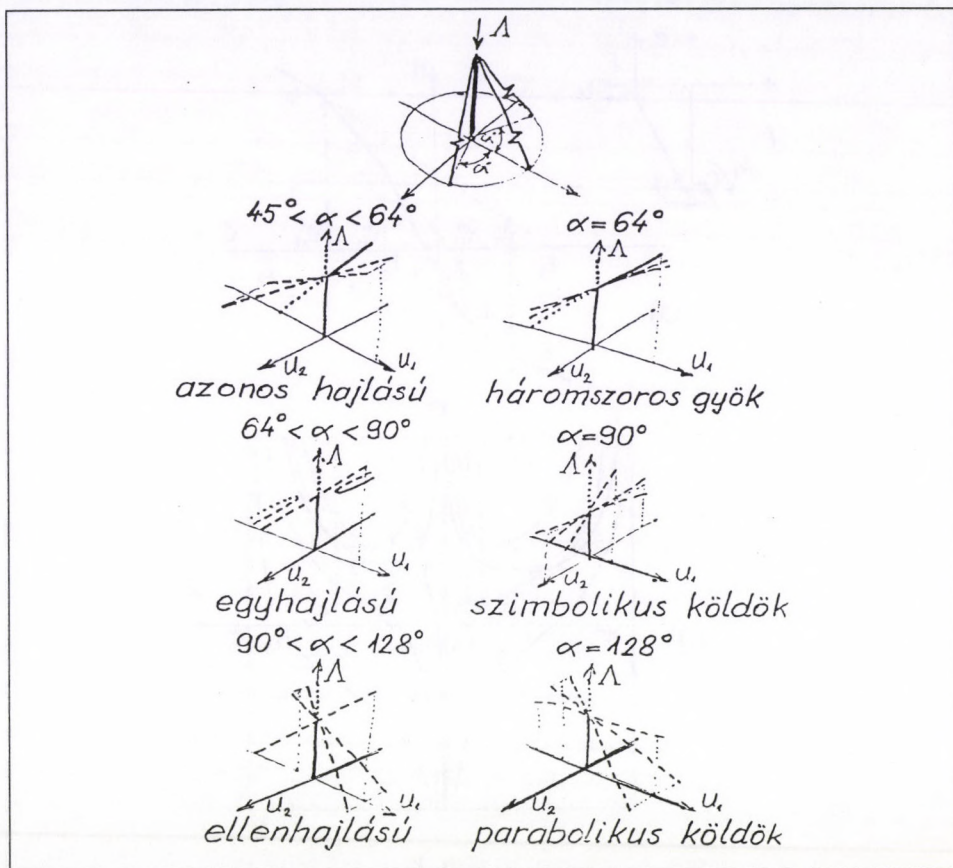


27. ábra. Globális egyensúlyi utak mint a geometriai nemlinearitás megtestesítői

egyéb – biomechanikai – paraméterek függvényében. Máris egyértelműen ki mondható, hogy a gerinccsigolyák közötti „szerkezeti kapcsolat” viselkedése a tipikus viszkózus viselkedésnek felel meg: azonnal kialakulnak a rugalmas alakváltozások, majd állandó teher mellett az elsődleges és másodlagos kúszásnak megfelelő nemlineáris viszkózus alakváltozások. Ezt is a 32. ábrán láthatjuk.

8. Összefoglalás

A nemlinearitások hatásának összefoglalásaként egyszerű grafikus szemléltetést választottunk Halász (1966) nyomán. A 33.a ábrán a jól ismert stabilis-szimmetrikus elágazási feladat szerkezeti modellje látható. Az egyszerű rugós szerkezeten az F teher hatására u elmozdulás és elfordulás keletkezik, míg a rugóban M nyomaték lép fel. Az anyagi viselkedés a rugóba van koncentrálnva, így a feszültség-

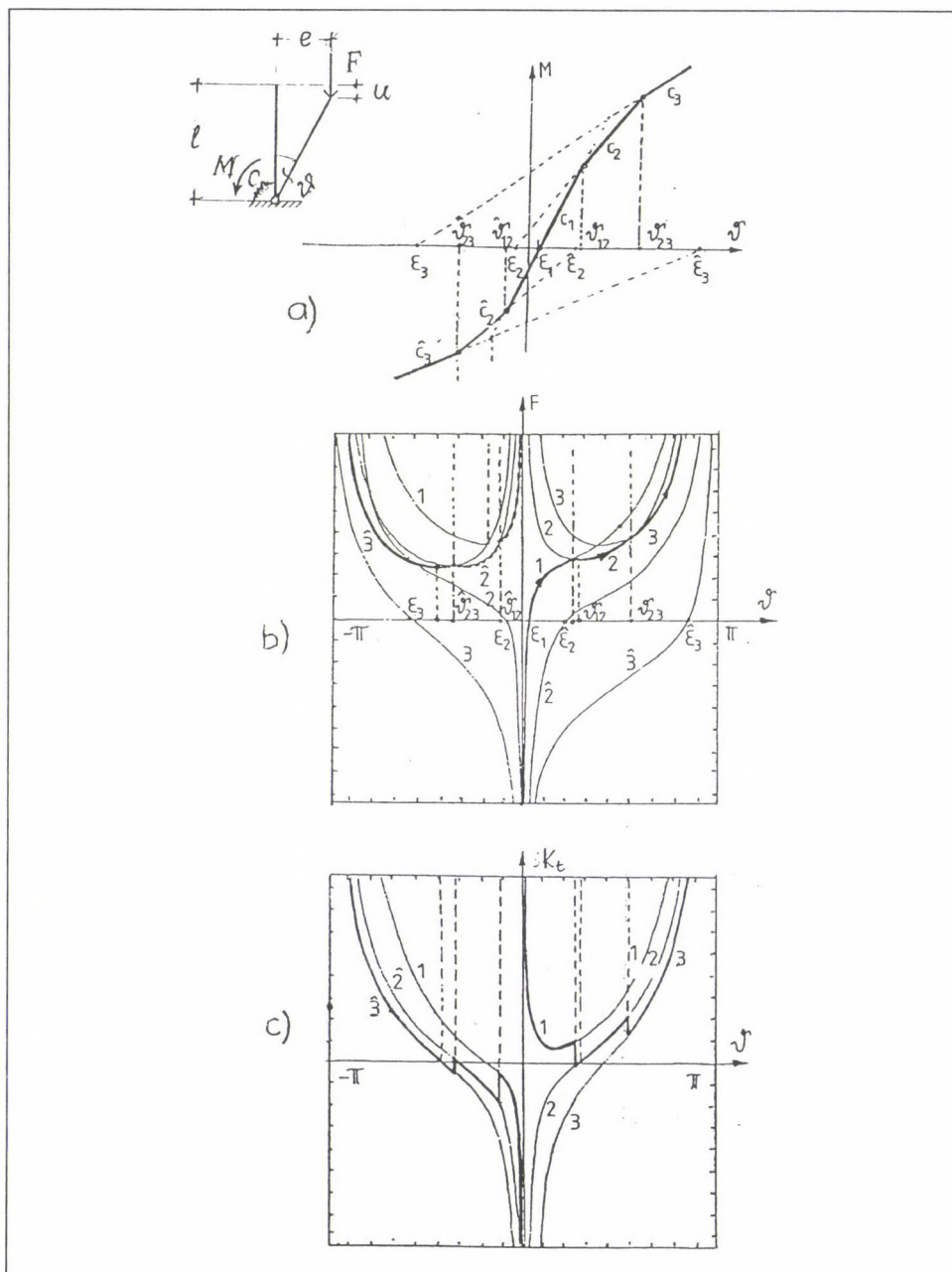


28. ábra. A kezdeti geometria hatása elmozdulások katasztrófaelméleti kezelésére

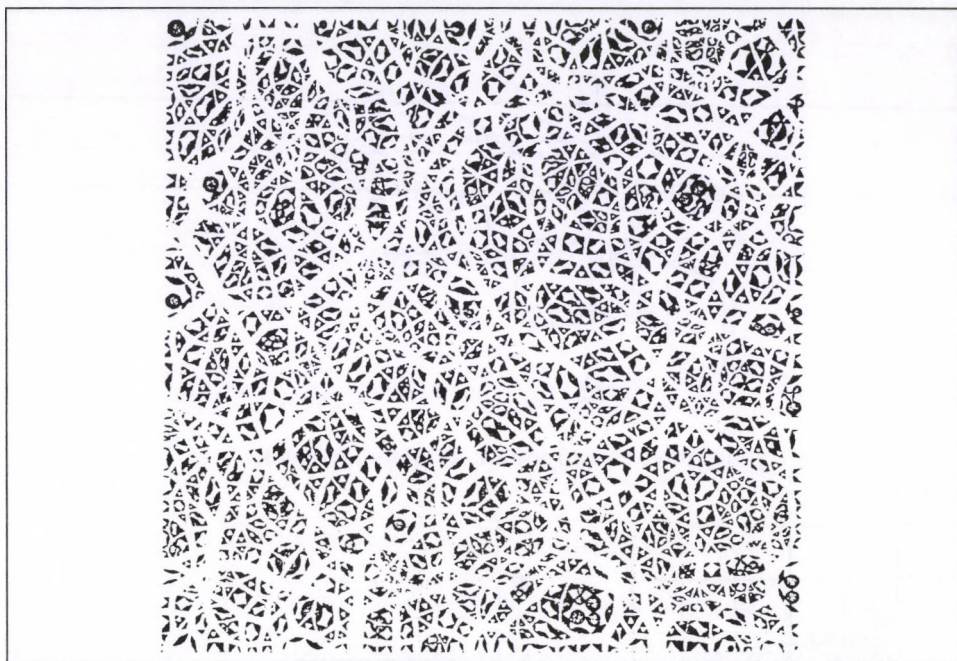
alakváltozás viszonyt az $M(\vartheta)$ függvény írja le. A szerkezeti viselkedés a teherelmozdulás $F(u)$ diagramjával jellemezhető.

Az egyszerű, de igen szemléletes módszer a négy koordinátásikot használja fel az egyes nemlinearitások illusztrálására. A 33. ábrán látható módon a tengelyeken a terhet és az egyes állapotváltozókat, az elmozdulásokat, alakváltozásokat és feszültségeket jelenítjük meg. Így az egyes nemlinearitások szemléletesen jeleníthetők meg.

Az első-, másod- és harmadrendű elmélet szemléltetéséhez a 33.b ábrán látható geometriailag tökéletlen szerkezetre van szükségünk, továbbá lineárisan rugalmas anyagot kell feltételeznünk, amint az a feszültség-alakváltozás viszonyban az ábrán látható. Az egyensúlyi egyenletek – mint tudjuk – hivataltól mindig lineárisak, így az F teher és az M nyomaték közötti viszony is az, amit az ábrán



29. ábra. Nemsima anyagú szerkezet egyensúlyi útja és érintő merevségi függvénye

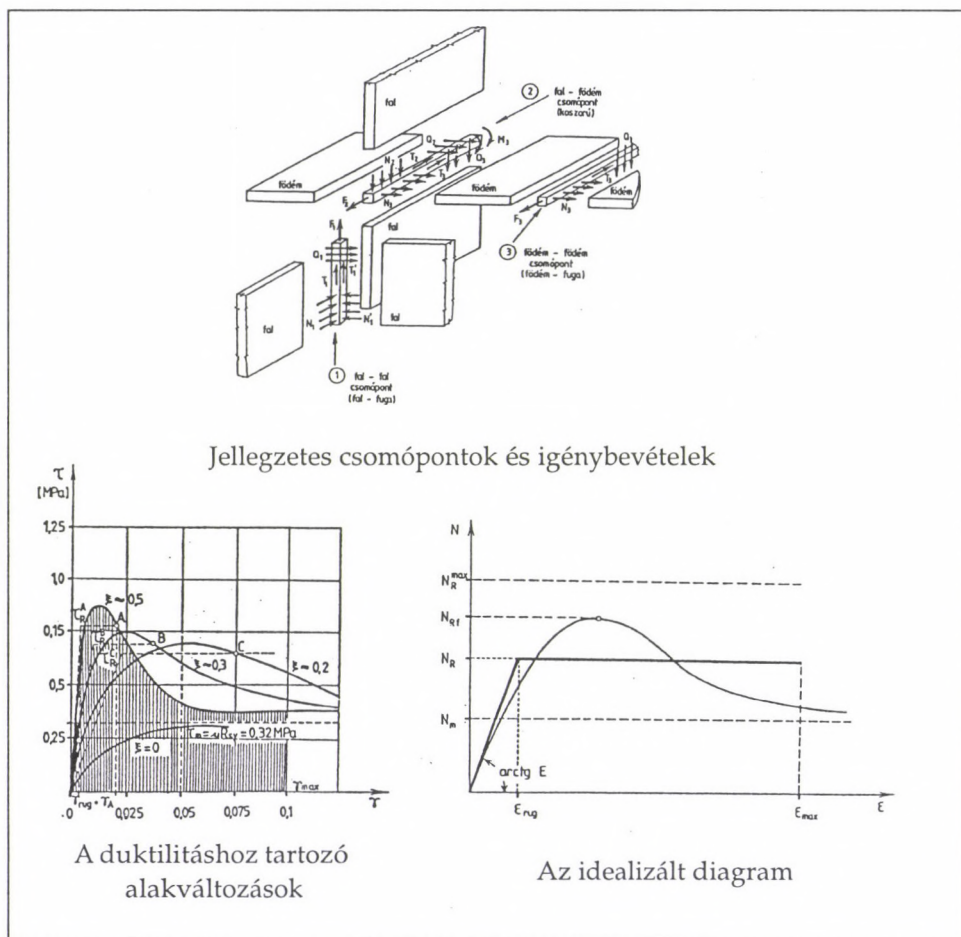


30. ábra. Fizikailag és geometriailag nemlineáris szemcsehalmazok numerikus modellezése

más és más karokhoz tartozóan, lineáris függvényekkel ábrázoltunk. Az elsőrendű elméletnél az egyensúlyi egyenletben nem vesszük figyelembe a szerkezet megváltozott alakját, tehát ekkor a kezdeti ferdeséghez tartozó elmozdulás változatlan, és a nyomaték (a feszültség) értéke csak az F teher nagyságától függ. Ez az ábrán látható lineáris teherelmozdulás-függvényt mint szerkezeti viselkedést eredményezi. A másodrendű elmélet az elmozdulásokat figyelembe veszi, de lineáris geometriát feltételez. A harmadrendű elmélet pedig nemlineáris elmozdulás-alakváltozás-függvényt alkalmaz. A 33.c ábrán látható módon a szerkezeti viselkedés teherelmozdulás-függvénye megszerkeszthető, s így a három elmélet világosan megkülönböztethető.

A 34. ábra adja az egyes nemlinearitási fajták hatásának összehasonlítását. Az elv ugyanaz, mint a 33. ábrán, azonban itt tökéletes szerkezetről van szó, amelyet a 33.a ábrán láthatunk.

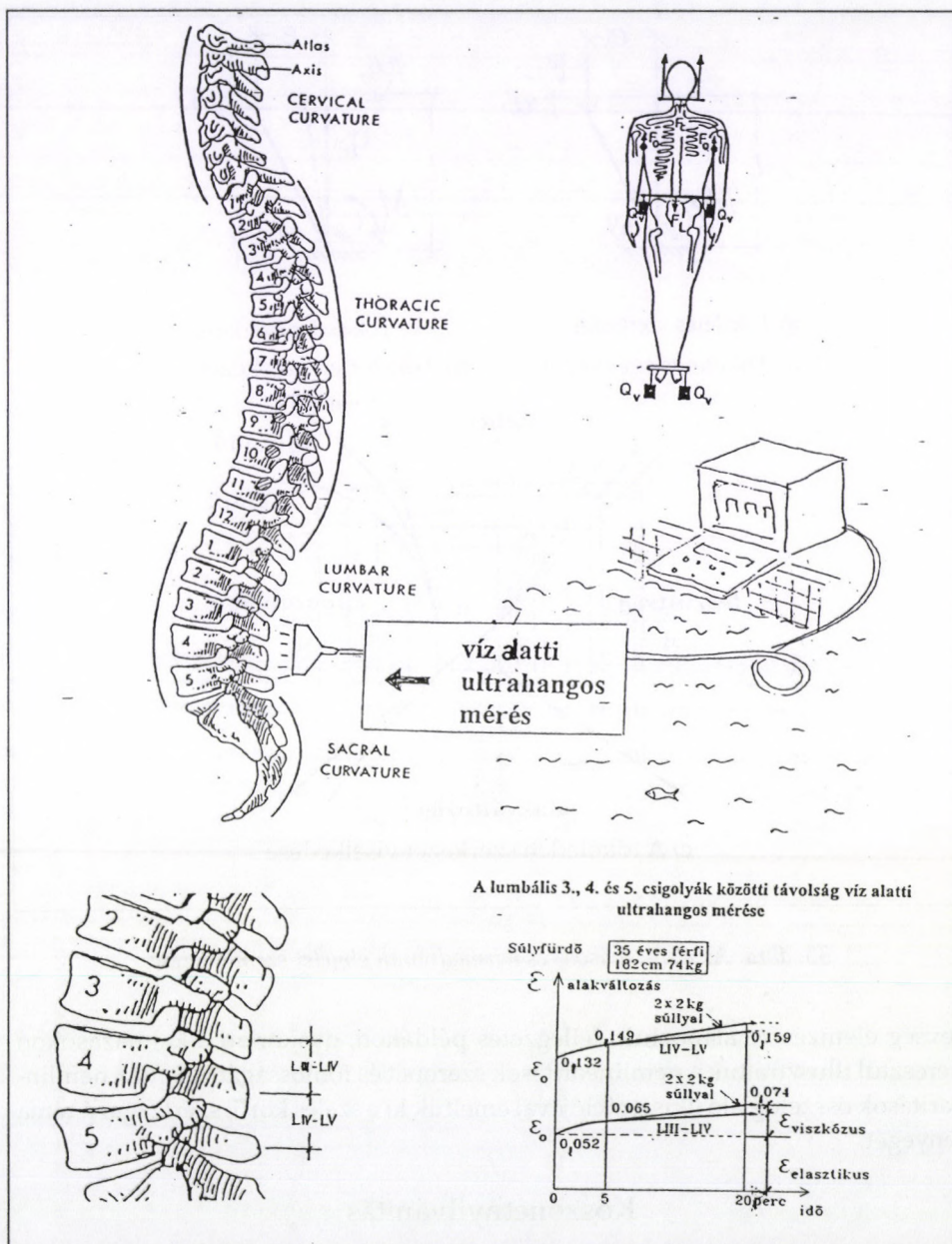
A 34.a ábrán a teljes körű linearitás esete látható. A szerkezeti viselkedést, az egyensúlyi utat a konstans függvény mutatja. A 34.b ábra a geometriai nemlinearitás szükségességét igazolja, s az ábra a lineárisan rugalmas szerkezet klasszikus egyensúlyi útját eredményezi. A 34.c és d ábrákon a nemlineárisan lágyuló és szí-



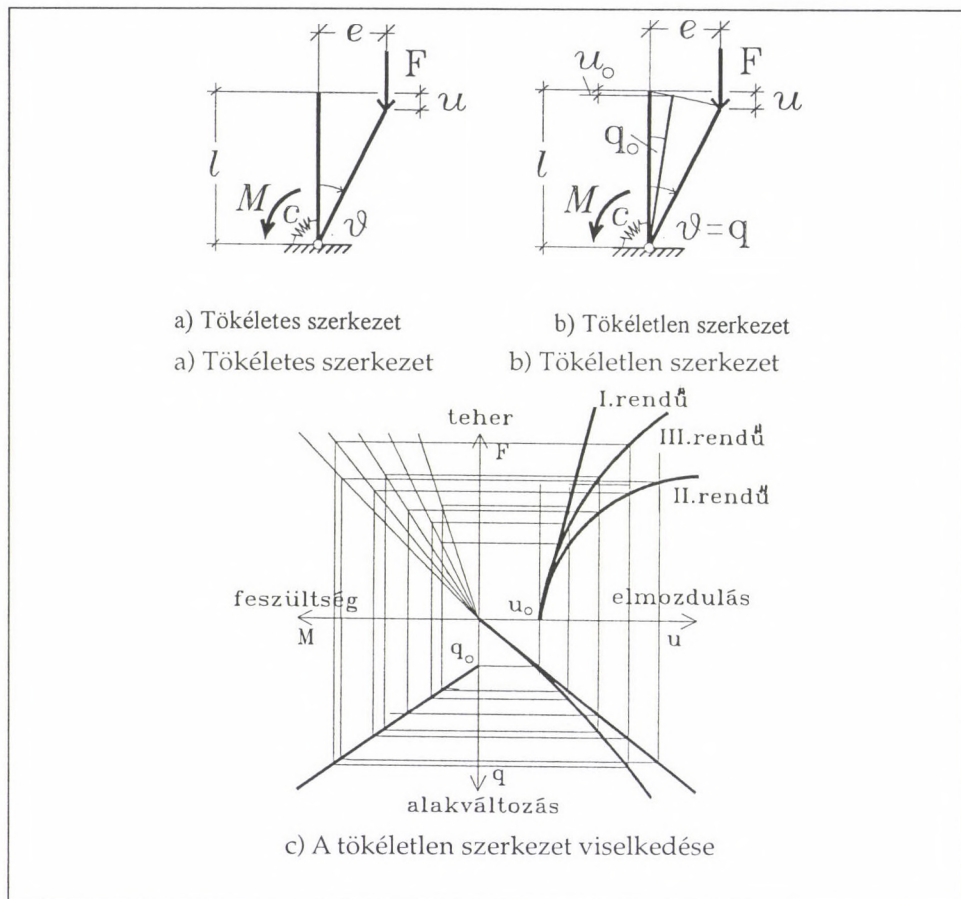
31. ábra. Panelcsomópontok nemlineáris fizikai viselkedésének idealizálása

lárduló anyagú szerkezet látható, egyaránt geometriai linearitás mellett. Ekkor az anyagi nemlinearitás kizárólagos hatása érvényesül: lágyuló anyagnál stabilitásvesztés és teherbírás-csökkenés, keményedő anyagnál teherbírás-növekedés a stabilitás fennmaradása mellett. A 34.e és f ábrákon halmozott nemlinearitási hatás látható. Nemlineárisan lágyuló és szilárduló anyag geometriai nemlinearitással párosítva. Jól érzékelhető a korábbi állításunk, miszerint alakváltozási nemlinearitás mellett lágyuló anyagnál határponthon túli stabilitásvesztés lehetséges.

Összefoglalónkban a tartószerkezeti analízisben előforduló tipikus és leggyakoribb nemlinearitási formák egységes kezelését mutattuk be. Az elméleti megfontolásokat a Hu-Washizu-elvből vezettük le, a numerikus kezelést az érintő me-



32. ábra. A viszkózusan viselkedő gerinc deformációjának kísérleti meghatározása súlyfűrdőben



33. ábra. Az első-, másod- és harmadrendű elmélet szemléltetése

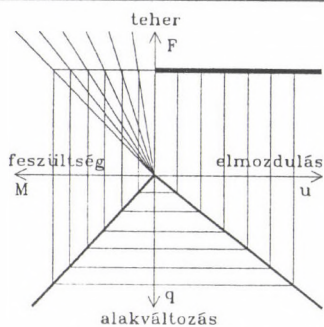
revség elemzésére alapoztuk. Jellegzetes példák, gyakorlati alkalmazásokon keresztül illusztráltuk a nemlinearítások szerepét és fontosságát. Végül a nemlinearítások összefoglaló illusztrációjával emeltük ki e széles körű, szerteágazó téma lényegét.

Köszönetnyilvánítás

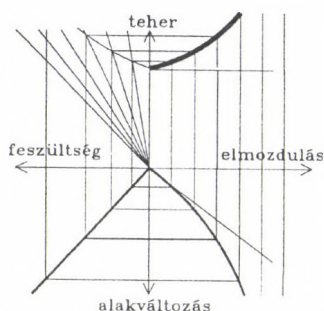
Ez a tanulmány az OTKA T022622, T023929, T025256, valamint az MKM(OM) FKFP 0371/97 és 0397/98 projektek támogatásával jött létre.

Irodalom

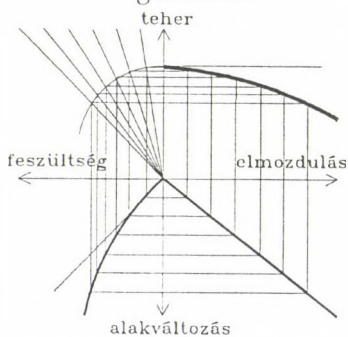
- ANDOR B., KURUTZ M.: Panelszerkezetek csomópontjainak szilárdsági jellemzése, *Építés-Építéstudomány*, 1985, 3-4. 263-333.
- BAGI, K.: Geometrical modelling of granular assemblies. *Acta Technica Acad. Sci. Hung.* 1997, 107. 1-2. 1-16.
- BAZANT Z. P., CEDOLIN, L.: *Stability of Structures. Elastic, Inelastic, Fracture and Damage Theories*. Oxford University Press, New York, Oxford, 1991.
- BENALLAL, A., BILLARDON, R., GEYMONAT, G.: Some Mathematical Aspects of the Damage Softening Rate Problem. In Mazars, J. and Bazant, Z. P. (eds.): *Cracking and Damage – Strain Localization and Size Effect*. Elsevier, London, New York. 1989, 247-257.
- BENALLAL, A., BILLARDON, R., GEYMONAT, G.: Bifurcation and Localization in Rate-Independent Materials. In Nguyen, Q. S. (ed.): *Bifurcation and Stability of Dissipative Systems*. CISM Lecture Notes, Springer. 1993.
- BENE É., KURUTZ M., LOVAS A., MONORI E., MOLNÁR P., FORNET B.: Biomechanikai testmodell a súlyfürdő extenziós effektusa alapján. *OTKA kutatási jelentés*, 1999.
- BILLARDON, R., DOGHRI, I.: Localization Bifurcation Analysis for Damage Softening Elastoplastic Materials. In Mazars, J. and Bazant, Z. P. (eds.): *Cracking and Damage – Strain Localization and Size Effect*. Elsevier, London, New York., 1989, 295-303.
- BRUHNS, O. T.: Bifurcation Problems in Plasticity. In Lehmann, Th. (ed.): *The Constitutive Law in Thermoplasticity*. CISM Lecture Notes. Springer, Wien, New York, 1984, 281, 461-540.
- CLARKE, F. H.: Generalized Gradients and Applications. *Trans. Am. Math. Soc.* 1975, 205. 247-262.
- DOMOKOS, G.: Global description of elastic bars. *ZAMM*, 1994, 74, 4, T289-T291.
- HALÁSZ O.: *Acélszerkezetek III/1. Stabilitásmélet*. Egyetemi jegyzet. Tankönyvkiadó, Budapest, 1966.
- HILL, R.: A General Theory of Uniqueness and Stability in Elastic-Plastic Solids. *J. of Mechanics and Physics of Solids*, 1958, 6, 236-249.
- HILL, R.: Uniqueness Criteria and Extremum Principles. In Self Adjoint Problems of Continuum Mechanics. *J. of Mechanics and Physics of Solids*, 1962, 10, 185.
- HILL, R.: On the Classical Constitutive Relations for Elastic-Plastic Solids. In *Recent Progress in Applied Mechanics*. Wiley, New York., 1967, 241.
- HILL, R.: Aspects of Invariance in Solid Mechanics. In Yih C. S. (ed.): *Advances in Applied Mechanics*. Academic Press, 1978, 8.
- HORTOBÁGYI Zs.: Kinematikailag határozatlan merev szerkezetek numerikus vizsgálata. *MTA-BME Mechanikai Kutatóközösség VI. Tudományos Ülésszaka kiadványa*. MTA-BME, Budapest, 1998, 57-62.
- KALISZKY, S.: The Analysis of Structures with Conditional Joints. *J. of Structural Mechanics*. 1975, 6, 195-210.
- KURUTZ M.: Feltételes kapcsolatokat tartalmazó szerkezetek gépi számítása kinematikai terhekkel. *Magyar Építőipar*. 1975, 7-8, 455-461.
- KURUTZ M.: Általánosított feltételes kapcsolatokkal rendelkező szerkezetek állapotváltozás-vizsgálata. *Műszaki Tudomány*, 1980, 59, 109-129.
- KURUTZ M.: Generalized Conditional Joints as Subdifferential Constitutive Models. *ZAMM*, 1985, 65, 5, T347-T348.
- KURUTZ M.: Analysis of Generalized Conditional Joints as Subdifferential Constitutive Models. *Mechanics of Structures and Machines*, 1987, 15, 2, 123-151.
- KURUTZ M.: On the Nonsmooth Stability Analysis. *ZAMM*, 1991, 72, 4, T114-T117.
- KURUTZ M.: Stability of Structures with Nonsmooth Nonconvex Energy Functionals. *European Journal of Mechanics, A/Solids*, 1993, 12, 3, 347-385.
- KURUTZ M.: Equilibrium Paths of Polygonally Elastic Structures. *Mechanics of Structures and Machines*, 1994, 22, 2, 181-210.
- KURUTZ M.: Equilibrium Paths of Polygonally Damaging Structures. Part one: The Nonsmooth Nonconvex Stability Problem, Part two: One Dimensional Example for Nonsmooth Damage and Localization. *International Journal of Damage Mechanics*, 1996, 5, 1, 16-41. és 42-67.



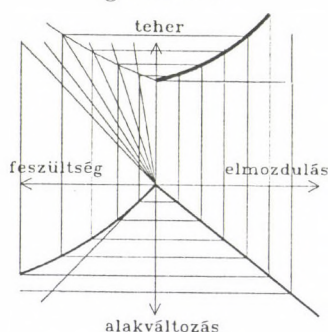
a) Lineáris anyag, lineáris geometria



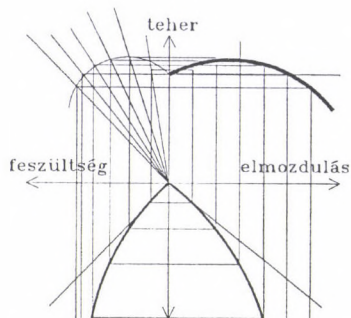
b) Lineáris anyag, nemlineáris geometria



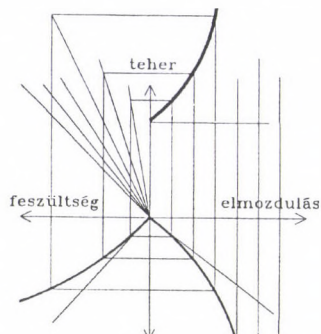
c) Lineáris geometria, nemlineárisan lágyuló anyag



d) Lineáris geometria, nemlineárisan szilárduló anyag



e) Nemlineáris geometria, nemlineárisan lágyuló anyag



f) Nemlineáris geometria, nemlineárisan szilárduló anyag

34. ábra. A nemlinearitások szerepének összefoglaló szemléltetése

- KURUTZ M.: Modification of the structural tangent stiffness due to nonlinear configuration-dependent loading. *Computer Assisted Mechanics and Engineering Sciences*, 1996, 3, 4, 367–388.
- KURUTZ M.: Postbifurcation Equilibrium Paths Due to Nonlinear Configuration-Dependent Conservative Loading by Using Nonsmooth Analysis. *Mechanics of Structures and Machines*, 1997, 25, 4, 445–476.
- KURUTZ M.: A survey of structural tangent stiffness in fully nonlinear and nonconvex cases including material softening. *Mechanics of Structures and Machines*, 1999, 2, 1, 37–63.
- KURUTZ M. 1999a: Imperfection-sensitivity of the classical bifurcation models loaded by configuration-dependent devices. *Journal of Mechanics of Structures and Machines* (in press).
- KURUTZ, M., BENE, É., LOVAS, A., MONORI, E., MOLNÁR, P. (1999b): Biomechanikai testmodell a súlyfűrdő extenziós effektusa alapján. *OTKA kutatási jelentés*.
- KURUTZ, M., GÁSPÁR, ZS.: Imperfection-sensitivity analysis of the stable-symmetric bifurcation model by using classical and catastrophe theory methods. *European Journal of Mechanics*, 1998 A/Solids (közlésre benyújtva).
- LOVAS, A.: A comparative study of the numerical solution of plates. *Periodica Polytechnica*, 1989, 33, 3–4, 157–169.
- MOREAU, J. J.: Fonctionelles sousdifférentiables. *C. R. Acad. Sc. Paris*, 1963, 257A, 4117–4119.
- MOREAU, J. J.: La notion de surpotential et les liaisons unilatérales en elastostatique. *C. R. Acad. Sc. Paris*, 1968, 267A, 954–957.
- MOREAU, J. J., PANAGIOTOPOULOS, P. D. (eds.): *Nonsmooth Mechanics and Applications*. CISM Lecture Notes. Springer, New York, Wien, 1988, 302.
- NANIEWICZ, Z. and PANAGIOTOPOULOS, P. D.: *Mathematical Theory of Hemivariational Inequalities and Applications*. Marcel Dekker, New York, 1995.
- NEILSEN, M. K., SCHREYER, H. L.: Bifurcations in Elasto-Plastic materials. *Int. J. of Solids and Structure*, 1993, 30, 4, 521–544.
- NÉDLI, P.: Elastic-plastic analysis of frames in case of geometrical nonlinearity. *Acta Technica Acad. Sci. Hung.*, 1995–96, 107, 1–2, 99–108.
- NGUYEN, Q. S.: Stabilité et bifurcation des systemes dissipatifs standards a comportement independant du temps physique. *R. C. Acad. Sc. Paris*, 1990, 310.
- NGUYEN, Q. S.: Bifurcation and Stability of Time-Independent Standard Dissipative Systems. in Nguyen, Q. S. (ed.): *Bifurcation and Stability of Dissipative Systems*. CISM Lecture Notes, Springer, 1993.
- PANAGIOTOPOULOS, P. D.: Nonconvex Superpotentials in the Sense of F. H. Clarke and applications. *Mech. Res. Comm.* 1981, 8, 335–340.
- PANAGIOTOPOULOS, P. D.: Nonconvex Energy Functions. Hemivariational Inequalities and Substationary Principles. *Acta Mechanica*, 1983, 42, 160–183.
- PANAGIOTOPOULOS, P. D.: *Inequality Problems in Mechanics and Applications*. Convex and Nonconvex Energy Functions. Birkhauser, Basel, 1985.
- PANAGIOTOPOULOS, P. D.: Nonconvex Superpotentials and Hemivariational Inequalities. Quasi-differentiability in Mechanics. In Moreau, J. J. and Panagiotopoulos, P. D. (eds.): *Nonsmooth Mechanics and Application*, CISM Lecture Notes. Springer, New York, Wien, 1988, 302, 83–176.
- PETRYK, H.: Theory of bifurcation and instability in time-dependent plasticity. In Q. S. Nguyen (ed.): *Bifurcation and Stability of Dissipative Systems*, CISM Lecture Notes, Springer Verlag, Wien, New York, 1993, 327, 95–152.
- RANIECKI, B., BRUHNS, O. T.: Bounds to Bifurcation Stresses in Solids with Nonassociated Plastic Flow Law at Finite Strain. *Int. J. of Mechanics and Physics of Solids*, 1981, 29, 153–172.
- RICE, J. R.: Inelastic Constitutive Relations For Solids: an Internal Variable Theory and its Application in Metal Plasticity. *J. of Mechanics and Physics of Solids*, 1971, 19.
- RICE, J. R.: The Localization of Plastic Deformations. in Koiter, W. T. (ed.): *Theoretical and Applied Mechanics*, North Holland P. C. 1976, 207–220.
- RICE, J. R., RUDNICKI, J. W.: A Note on Some Features of the Theory of Localization of Deformation. *Int. J. of Solids and Structures*, 1980, 16, 596–605.
- ROCKAFELLAR, R. T.: *Convex Analysis*, Princeton Univ. Press, Princeton, 1970.
- SHANLEY, F. R.: The Column Paradox. *J. Aero. Sci.* 1946, 13, 678.

VI. osztály: Mechanika – elmélet és gyakorlati alkalmazások

- SHANLEY, F. R.: Inelastic Column Theory. *J. Aero. Sci.* 1947, 14, 261.
- SLUYS, L. J.: Computational modelling of localization and fracture. In P. Perzyna (ed.): *Localization and Fracture Phenomena in Inelastic Solids*, CISM Lecture Notes (in press) 1997.
- SUQUET, P. M.: Locking Materials and Hysteresis Phenomena. in Del Piero, G. and Maceri, F. (eds.): *Unilateral Problems in Structural Analysis*. CISM Lecture Notes Springer, Wien, New York, 1985, 288, 339–373.
- SZABÓ, L.: On the Eigenvalues of the Fourth-order Constitutive Tensor and Loss of Strong Ellipticity in Elastoplasticity. *Int. J. of Plasticity*, 1998, 13, 10, 809–835.
- THOMPSON, J. M. T., GÁSPÁR, ZS.: A buckling model for the set of umbilic catastrophes. *Math. Proc. of the Camb. Phil. Soc.* 1977, 82, 497–507.
- WASHIZU, K.: *Variational Methods in Elasticity and Plasticity*. Oxford, Pergamon Press, 1968.

Kompozitanyagok mechanikája

(Kihívások és meglegpetések)

Bevezetés

Kompozitszerkezeten különböző anyagok társításával létrehozott szerkezetet értünk. Ebben az értelemben kompozit például az építőmérnöki gyakorlatban gyakran alkalmazott vasbeton vagy a vasbeton és acél társításával létrehozott úgynevezett öszvérszerkezet. Az elmúlt évtizedek mérnöki szaknyelve szűkebb értelemben használja a kompozit kifejezést: elsősorban (bár nem kizárólagosan) szálérősítéses anyagokat ért rajta (1. ábra). A szálak az úgynevezett mátrixba vannak beágyazva; az előbbieket leggyakoribb anyagai az üveg és a szén, az utóbbiak leggyakrabban polimerek: poliészter, vinilészter vagy epoxi [1, 2, 3].

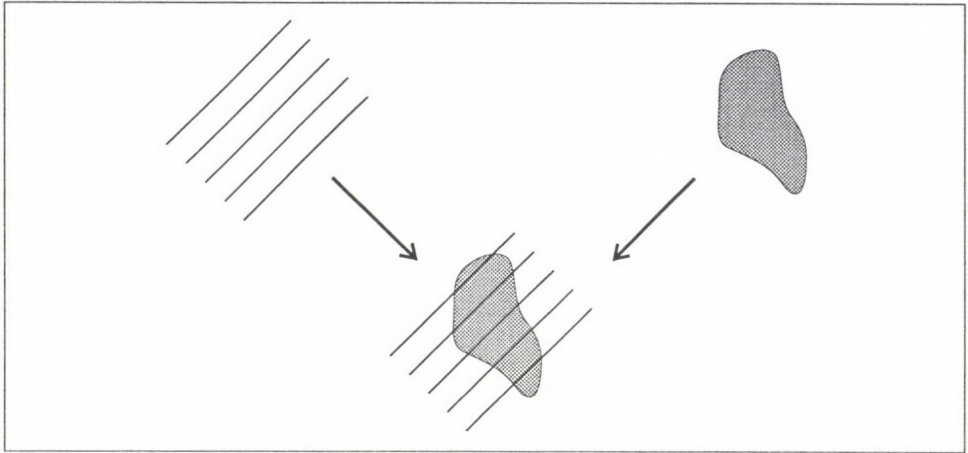
A kompozitok szilárdsága lényegesen meghaladja az acélét, sűrűségük viszont lényegesen kisebb (2. ábra), ezért előnyösen alkalmazható mindenhol, ahol a szilárdság és a kis súly egyaránt fontos. Ez az oka annak, hogy a kompozitok alkalmazása először a repülőgépiparban (azon belül is a hadiiparban) vette kezdetét [1–5]. A kompozitokban rejlő lehetőségeket jól mutatja Urs Mayer példája: acélból a leghosszabb építhető híd, amely képes viselni az önsúlyát, mintegy 4,5 km, szénszálas epoxiból viszont 14,5 km. A kompozitok alkalmazásának egy másik fontos oka a korrózióállóság.

A kompozitszerkezeteket a fenti előnyös tulajdonságai miatt egyre több területen használják. Az alkalmazásoknál azonban sok olyan probléma is felvetődik, amely elsősorban abból adódik, hogy a kompozitok viselkedése (és így szükségszerűen az alkalmazandó vizsgálati módszerek is) nagymértékben eltér a szokásos szerkezeti anyagokétól. Ezek közül a legfontosabbakat foglaljuk össze az alábbiakban.

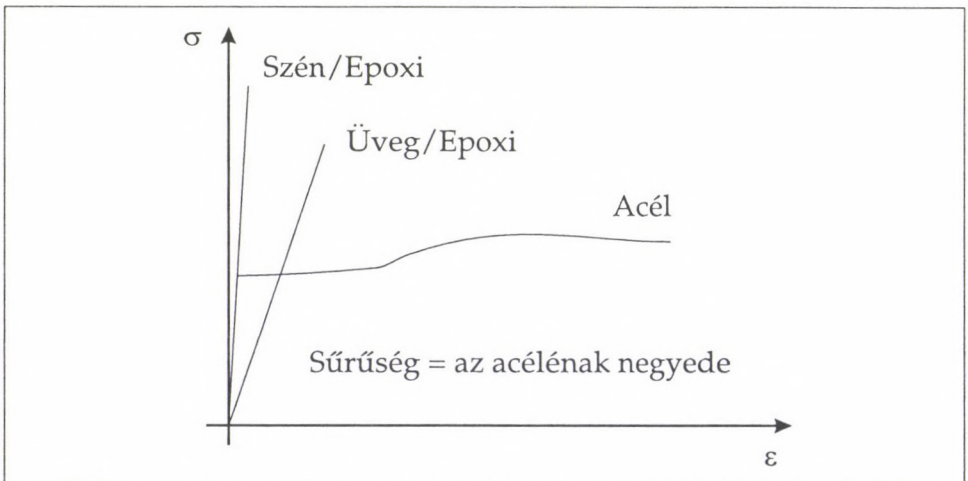
Bonyolult viselkedés

A kompozitok általában réteges szerkezetek, ahol az egyes rétegekben a szálak iránya legtöbbször eltér egymástól.

A rétegek mátrixból és szálakból állnak. A szálak merevsége lényegesen nagyobb, mint a mátrixé, ezért a mátrixban a feszültségek az egyes szálak között

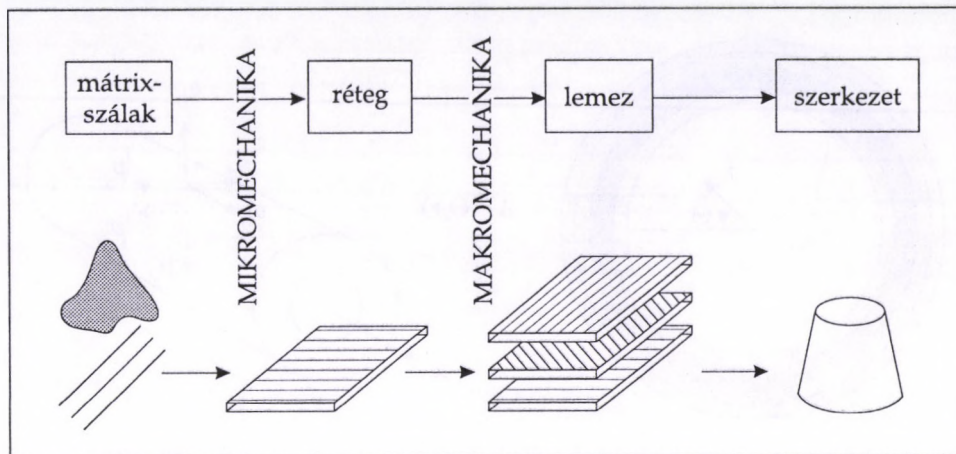


1. ábra. A kompozit a szál és a mátrix társításával jön létre



2. ábra. A kompozitok összehasonlítása az acéllal

nagymértékben változnak, még abban az esetben is, ha a réteget igen egyszerű mechanikai teherrel terheljük, például ha egyenletesen egy irányba megnyújtjuk. A szálak és a mátrix egymásra hatásával, az összetevők és a rétegek tulajdonságai közötti összefüggésekkel foglalkozik az úgynevezett „mikromechanika” (3. ábra). Ezen a területen a kutatók sokféle módszerrel dolgoznak: analitikusan, numerikus szimulációval, egyszerű közelítő modellezéssel vagy kísérletekre alapozott empirikus modellekkel. E témakörben cikkek tucatjai jelennek meg minden évben, de általában elmondható, hogy ezen modellek alkalmazhatósági köre igen



3. ábra. A kompozitszerkezet kialakítása szálak anyagból

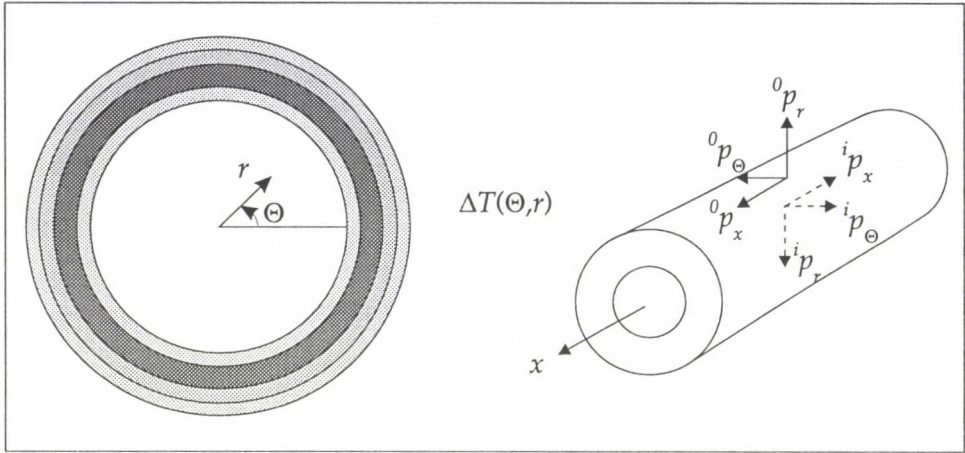
szűk, és ha a réteg viselkedéséről megbízható információval kívánunk rendelkezni, akkor magán a gyártott rétegen kell kísérleteket végezni.

A mikromechanika alkalmazásának (vagy a rétegeken végrehajtott kísérleteknek) eredményeként rendelkezésünkre áll egy az egyes rétegekre vonatkozó anyagtörvény, amely az egyes rétegeket homogénnek tekinti, vagyis a szálakban és a rétegekben keletkező feszültségeket és nyúlásokat az átlagfeszültséggel és az átlagnyúlással helyettesíti. Az így nyert homogén réteg viselkedése nem tekinthető izotrópnak, mert a szálirányban a réteg merevsége (és szilárdsága) akár százszorosa is lehet a szálra merőleges irányénak. A mérnök számára a tervezés kiindulási adataként általában a réteg merevségi és szilárdsági jellemzőit kell megadni, és a problémát a réteg anizotrópiája jelenti, amely egyrészt meglepő viselkedést eredményezhet, másrészt igen elbonyolíthatja a számításokat.

A rétegek tulajdonságainak ismeretében a vizsgálatoknak két útja lehetséges: vagy a rétegeket egymástól függetlennek tekintjük, folytonossági feltételeket írunk elő közöttük, és háromdimenziós modellel írjuk le a szerkezetet, vagy pedig a keresztmetszet mentén a deformációkra bizonyos feltételeket teszünk (például érvényesnek tekintjük a Kirchhoff–Love hipotézist), és így anizotróp lemez-, illetve héjelméletekhez jutunk. A lemez-, illetve héjelem konstitutív egyenleteinek származtatásával foglalkozik az úgynevezett „makromechanika” (3. ábra). A legtöbb réteges kompozitot számító végesesemes-program ezen az utóbbi elven működik.

Bármelyik utat is követjük, a nehézséget általában a mérnök számára kevésbé ismert anizotrópia jelenti.

Ennek bemutatására jó példa az úgynevezett „síkbeli alakváltozás-állapot”. Tekintsünk tehát egy hosszú, végein befogott, vastag, réteges, kompozithengert,



4. ábra. Kompozithenger terhei

amelyet hőmérséklet-változás, valamint, az axiális iránytól nem függő, felületi és térfogati hatások terhelnek, amelyeknek eredője a tengelyre merőleges keresztmetszetekben zérus (4. ábra).

Izotróp henger esetén ez a henger (a megtámasztás melletti zavart zónát leszámítva) síkbeli alakváltozás-állapotban lesz, amely azt jelenti, hogy a tengelyirányú elmozdulása zérus, és a többi elmozdulása független a tengelyiránytól:

$$u = 0, \quad v = v(r, \Theta), \quad w = w(r, \Theta).$$

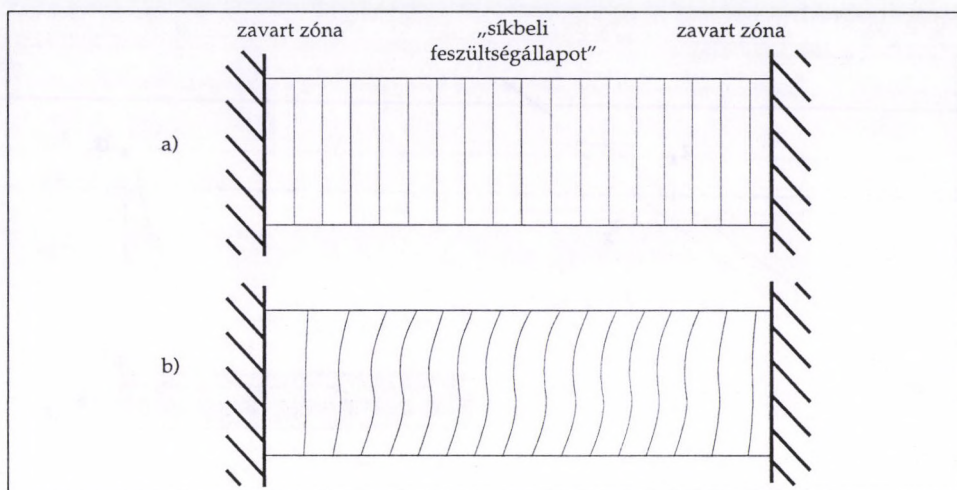
Ezen elmozdulásokhoz az alábbi nyúlások tartoznak:

$$\begin{aligned} \varepsilon_x &= 0, & \varepsilon_\Theta &= \varepsilon_\Theta(r, \Theta), & \varepsilon_r &= \varepsilon_r(r, \Theta), \\ \gamma_{r\Theta} &= \gamma_{r\Theta}(r, \Theta), & \gamma_{xr} &= 0, & \gamma_{x\Theta} &= 0. \end{aligned}$$

Izotróp esetben tehát az alakváltozások és elmozdulások is csak a tengelyre merőleges síkokban jönnek létre, és a nyúlások és elmozdulások függetlenek a tengelyiránytól.

Kompozithenger esetén a keresztmetszetek kiléphetnek a tengelyre merőleges síkokból, vagyis a keresztmetszetek nem maradnak síkok:

$$u = u(r, \Theta), \quad v = v(r, \Theta), \quad w = w(r, \Theta).$$



5. ábra. Síkbeli feszültségállapot esetén a keresztmetszetek
a) izotróp anyag esetén síkok maradnak, b) kompozitanyag esetén eltorzulnak

Az alakváltozások közül pedig csak a tengelyirányú nyúlás zérus:

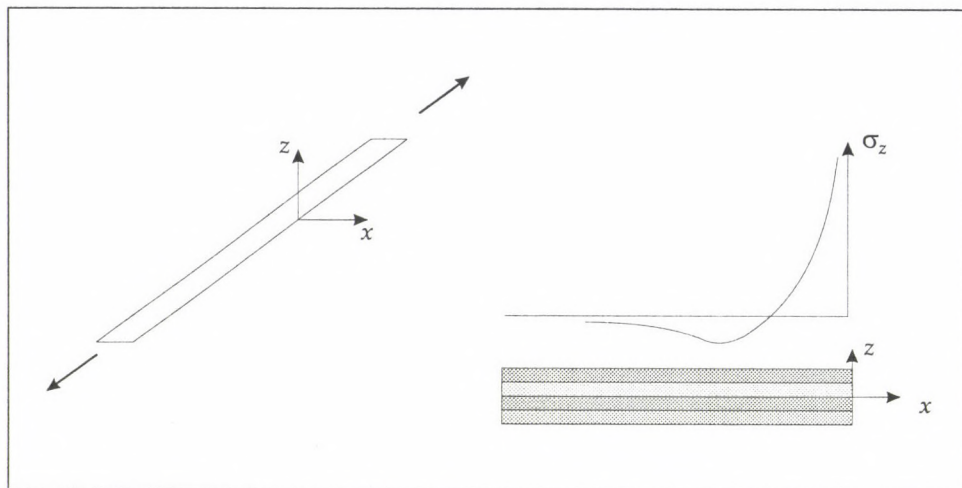
$$\begin{aligned} \varepsilon_x &= 0, & \varepsilon_\Theta &= \varepsilon_\Theta(r, \Theta), & \varepsilon_r &= \varepsilon_r(r, \Theta), \\ \gamma_{r\Theta} &= \gamma_{r\Theta}(r, \Theta), & \gamma_{x\tau} &= \gamma_{x\tau}(r, \Theta), & \gamma_{x\Theta} &= \gamma_{x\Theta}(r, \Theta). \end{aligned}$$

Ezt az állapotot „általánosított síkbeli alakváltozás-állapot”-nak nevezzük. Az alakváltozások szigorúan véve nem síkbeliek, de az elmozdulások és nyúlások függetlenek a tengelyiránytól: csak a tengelyre merőleges koordinátáktól függenek.

Izotróp esetben tehát két zérustól különböző elmozdulás (v és w) írja le a henger viselkedését, és a keresztmetszetek síkok maradnak, anizotróp esetben viszont három elmozdulás (u , v és w) és a keresztmetszetek nem maradnak síkok (5. ábra). Így a vizsgálatok nagymértékben komplikálódnak, és megváltozik a viselkedés jellege. Erre egyszerű példa az egyenletesen melegített szabadon álló henger, amely kompozit alkalmazása esetén elcsavarodik, izotróp anyag esetén viszont nem.

Nem acélszerű viselkedés

Az alábbiakban néhány olyan jelenségre hívjuk fel a figyelmet, amelyek azt mutatják, hogy a kompozitszerkezetek viselkedése alapvetően eltér a fémből

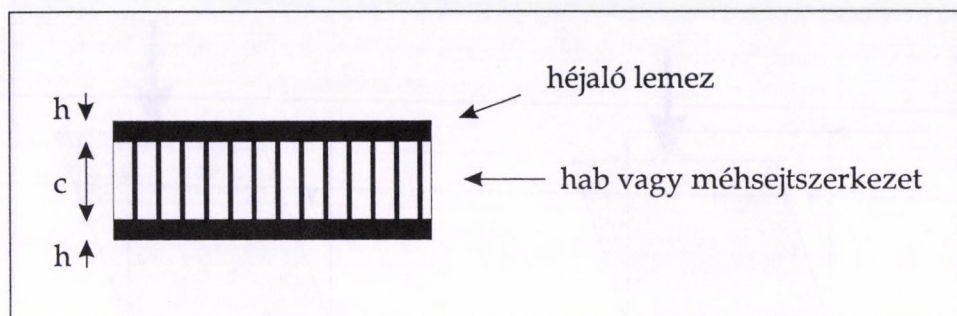


6. ábra. Feszültség a szabad szél közelében

készített szerkezetekétől. Erre a tervezők gyakran nincsenek tekintettel, aminek következménye a szerkezet károsodása, sőt akár leszakadása is lehet.

Feszültségkoncentráció

Ha egy acélcsíkot tengelyirányban meghúzunk, akkor az acél homogén feszültségállapotban lesz: konstans tengelyirányú feszültség keletkezik benne, a többi öt feszültségkomponens pedig zérus. A kompozitok, mint írtuk, általában réteges szerkezetek (3. ábra). Ezért a perem közelében, egyirányú húzás esetén is, összetett feszültségállapot alakul ki. A rétegek között a rétegekre merőleges, „szét-tépő” feszültség ébred, amely a peremtől távolodva csökken (6. ábra). E feszültség számítására számtalan analitikus és numerikus módszer található az irodalomban. Ezek a módszerek a rugalmasságtan alapján általában véges nagyságú feszültséget szolgáltatnak. Így az eredmények hibásak: a rugalmasságtan szerint a megoldásnak szingulárisnak kellene lennie, végtelen nagy feszültséget kellene adnia. (A hiba a számításban alkalmazott közelítésekben, például a véges elemes diszkrétizálásban rejlik.) Ezért az így számított feszültségcsúcsra alapított méretezés nem ad valós információt egy szerkezet biztonságáról. A helyes méretezéshez vagy figyelembe kell vennünk az anyag képlékenyedését, vagy a törésmechanikát kell alkalmaznunk [2, 3], amely nem közvetlenül a feszültségcsúcsra, hanem energiaelvekre alapozza a méretezést.



7. ábra. Szendvicsszerkezet

Nyírási deformáció

A kompozitokat gyakran szendvicsszerkezetként alkalmazzuk (7. ábra), amelyben a két kemény réteg között egy lényegesen puhább réteg található. E szerkezetek nyírási deformációja akár meg is haladhatja a hajlítási alakváltozást (ellentétben a hagyományos mérnöki szerkezetekkel, ahol a nyírási alakváltozás általában elhanyagolható). A nyírási deformáció hatását illusztrálhatjuk egy a két végén csuklósan megfémasztott rúd kritikus erejének képletével:

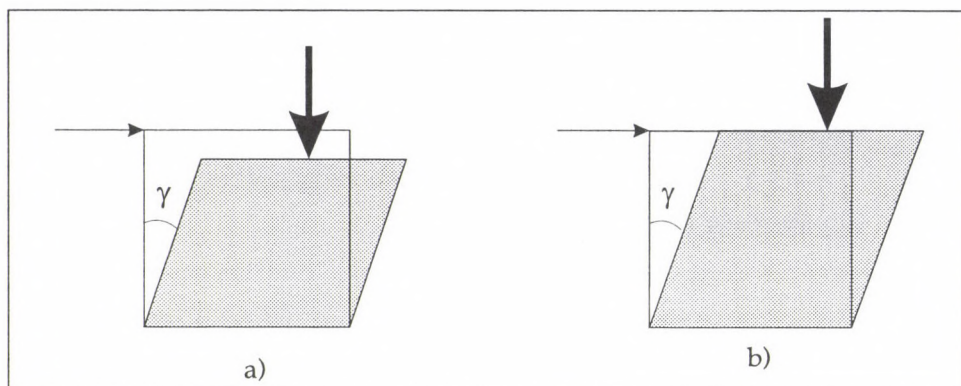
$$N_{cr} = \left\{ \left(\frac{\pi^2 EI}{l^2} \right)^{-1} + \frac{1}{S} \right\}^{-1},$$

ahol l a rúd hossza, EI a hajlítási merevség, S a nyírási merevség. Végtelen nagy nyírási merevség esetén ez az összefüggés megegyezik a rudak Euler által levezetett, klasszikus kritikus terhével:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{l^2}.$$

Szendvicsszerkezetek esetén a nyírási deformáció elhanyagolása nagyságrendi hibát is eredményezhet, és a szerkezet viselkedésének modellezését alapvetően megzavarhatja.

A véges elemes programok általában tartalmaznak nyírási deformációt is figyelembe vevő elemeket, de ez még a geometriai nemlinearitással együtt sem garancia arra, hogy a program a nyírási stabilitásvesztést is modellezni tudja. Ezt illusztráljuk a 8. ábrán. Ha a nyírási deformációt a 8b) ábrán vázolt módon vesszük figyelembe, akkor egy szerkezet nyírásra nem hajlik ki, mivel a függőleges



8. ábra. A nyírási merevség lehetséges értelmezései

erőnek a nyírási deformáció következtében nincs potenciálvesztése. Ekkor a véges elemes program hamis eredményt ad. A nyírási deformáció helyes értelmezése a 8a) ábrán látható.

Kicsiny merevség

A kompozitok szilárdsága általában meghaladja az acélét. Az egyirányú grafit-szálas kompozitok merevsége az acélkéval majdnem azonos, az üvegszálasoké az acélénak csupán a negyede (2. ábra). A többirányú üvegszálalt tartalmazó kompozit merevsége pedig az acélénak akár tizede is lehet. Vagyis sok esetben a kompozitok merevsége (illetve az egységnyi szilárdságra vonatkozó fajlagos merevsége) sokkal alacsonyabb, mint az acélé. Ebből az következik, hogy a tervezés meghatározó paramétere gyakran nem a szilárdság, hanem a merevség: a lehajlás, a rezgés vagy a stabilitásvesztés.

Erre egy példa a peremartoni üvegszálas poliészter gömbkupola, amelyet gyűrűirányú hullámokkal alakítottak ki. A gömbkupola átmérője 34,3 m volt. Az építés utáni első télen a szél a havat a kupola egyik oldalán halmozta fel. A kis merevség miatt a kupola ezen az oldalon benyomódott, majd 1986. február 19-én átpattant és leszakadt. A kupola a teherbírás szempontjából elegendő szilárdsággal rendelkezett, de kicsiny merevsége miatt nagy alakváltozásokkal tönkrement.

A gerendák kialakítását az egyes alkotórészek lokális horpadása erősen befolyásolja. Ez szabja meg például egy I gerenda gerincének a vastagságát, öveinek a szélességét. Az acélgerendáknál megszokott méretek kompozitgerendákra nem alkalmazhatók, a kis szilárdság miatt vastagabb alkotóelemeket, esetleg más keresztmetszeti kialakításokat kell alkalmazni.

Rideg viselkedés

A 2. ábra mutatja, hogy az acél tönkremenetelét általában tetemes képlékeny deformációk előzik meg, az acél duktilisan viselkedik, a kompozit ezzel szemben a törésig lineárisan rugalmas, és ridegen törik.

A építőmérnöki szerkezetek tervezésében a képlékenyedés kedvező hatását gyakran figyelembe vesszük, gondoljunk például a képlékeny nyomatékátrendeződéssre vagy egy megerősítés esetén az eredeti és az erősítő szerkezet teherbírásának egyszerű összegezésére.

Kompozitok esetén, a nem duktilis viselkedés miatt, nem szabad alkalmazni a képlékenységtan elveit, fokozottan kell figyelni statikailag határozatlan szerkezeteknél az egyenlőtlen süllyedések hatására, a lehetséges rideg tönkremenetelre.

Összefoglalás

A dolgozatban ismertettük a kompozitok legfontosabb tulajdonságait, viselkedésüket összevetettük az acélokéval, ismertettük a legfontosabb eltéréseket, megmutattuk, hogy a rideg viselkedés, a kicsiny merevség, a nyírási deformáció és a feszültségkoncentráció kellemetlen meglepetésekkel szolgálhat, ami akár a szerkezet tönkremenetelét is okozhatja. Ezeket előadásunkban több megépült szerkezet példáján ismertettük, amelyek közül, terjedelmi korlát miatt, csak egy került be ebbe a cikkbe.

*

A cikkben ismertetett kutatásokat az OTKA T 016645 számon támogatta, amelyért ezúton is köszönetet mondunk.

Irodalom

- [1] Czvikovsky Tibor: Új minőségek a szerkezeti műanyagokban. *Magyar Tudomány*, 1994, 39, 912–928.
- [2] Daniel, Isaac and Ishai, Ori: *Engineering Mechanics of Composite Materials*. Oxford University Press, New York, Oxford, 1994.
- [3] Herakovich, Carl: *Mechanics of Fibrous Composites*. John Wiley, New York, etc, 1998.
- [4] Kollár L. P. és Kiss Rita: Szálerősítéses anyagok az építőiparban. I. kompozitok anyagai. *Közúti és Mélyépítési Szemle*, 1998, 48, 331–338.
- [5] Tsai, Stephen: *Composite Design*. 4th edition. Think Composites. Dayton, etc, 1988.

Érdekes alakváltozások

Aműszaki életben az esetek túlnyomó többségében az alakváltozást mechanikai erő vagy nyomaték okozza, de azt is természetesnek tartja mindenki, hogy a hőmérséklet növekedése vagy csökkenése is megváltoztatja a testek alakját. Azzal azonban sokkal ritkábban találkozunk, hogy a kristályos anyagok alakja nemcsak mechanikai és hőhatásra, hanem például elektromos vagy mágneses terek hatására is megváltozik.

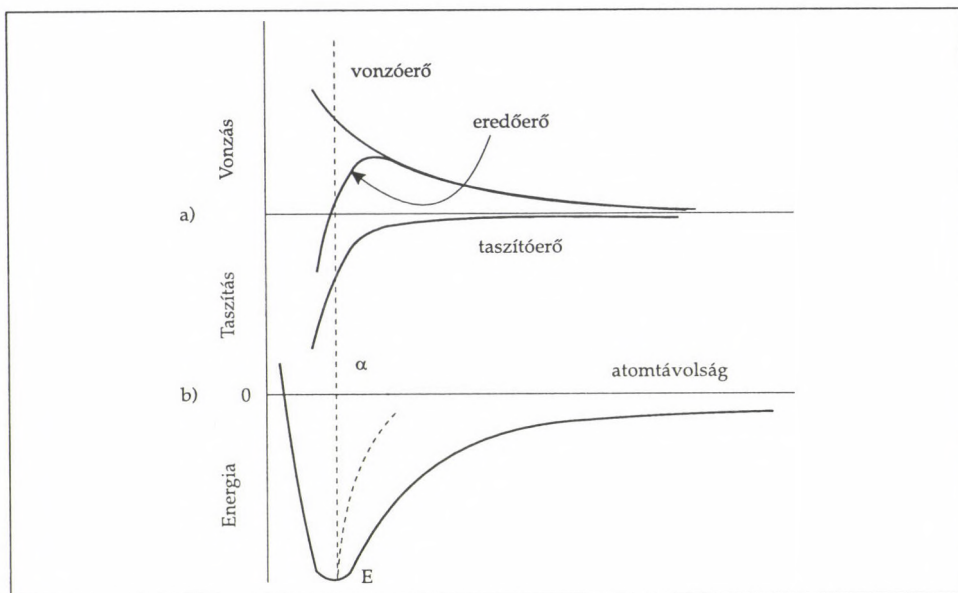
A kristályos szilárd testek építőelemeit, az ionokat, atomokat vagy a molekulákat az egymás között kialakuló kölcsönhatásokból eredő erők tartják azokon a helyeken, melyek az adott kristályok rendjét (köbös, tetragonális, hexagonális stb.) meghatározzák. A legközelebbi szomszédok közötti erőhatások [1, 2] jellegzetes vonásait az 1. ábra mutatja.

A rácspontokban helyet foglaló részek között vonzó és taszító kölcsönhatások ébrednek a kialakulásuk során, és ezeknek az egyensúlya dönti el azok egymás közti távolságát. Az 1a. ábra mutatja a két szomszédos atom között kialakuló vonzó- és taszítóerőket és azok eredőjét a szomszédok közötti távolságtól függően. A vonzó- és taszítóerők összegének zérus értéke határozza meg az egyensúlyi távolságot, amihez természetesen 0 K-en a minimális energia is tartozik (1b ábra).

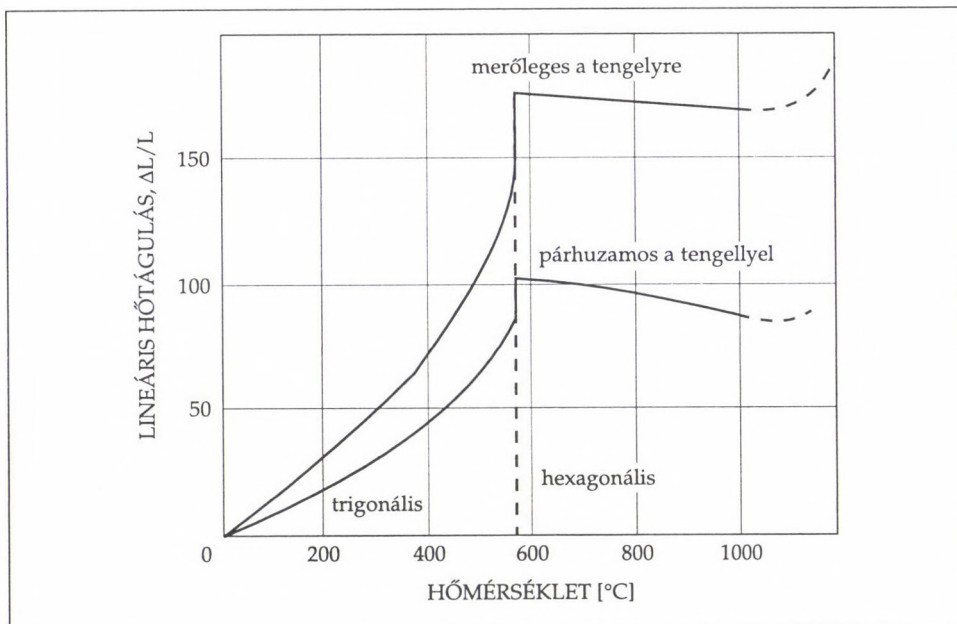
Az energiagörbe a minimális értékhez tartozó pontjában emelt függőleges egyenesre nem szimmetrikus, és ez okozza a hőtágulást. A tetszőleges hőmérsékletekre jellemző energiákhoz tartozó vízszintes egyenesek metszéspontjainak a felező értékei adják az adott hőmérsékletre jellemző egyensúlyi távolságokat. Ezek jelzik a rezgési amplitúdók fél értékeit is, amit a szaggatott vonal mutat. Ez felel meg a hőmérséklet növekedésével kapcsolatos egyensúlyi távolságoknak, a hőtágulásnak.

Itt jegyezzük meg azt, hogy az alacsony szimmetriájú kristályok között vannak olyanok, melyeknek bizonyos irányokban az anyagok megrövidülnek a hőmérséklet növekedésével. Ezt mutatja a 2. ábra a kvarc példáján [3], melynek két kristályos módosulata egymással 573 °C-on tart egyensúlyt. A nagyobb hőmérsékleten stabil β kvarc hőtágulása két irányban is negatív lineáris hőtágulási együtthatójú, amint azt az ábra szemlélteti.

A kristályos szilárd testeket összetartó erők minden külső hatással szemben meg akarják tartani az atomokat az egyensúlyi helyzetükben, amit a szabadental-



1. ábra



2. ábra

pia minimuma határoz meg. A külső hatás megváltoztatja a rendszer szabadentalpiáját, ennek megfelelően változnak meg a kölcsönhatási erők és vele az atomok – és most már az új termodinamikai feltételeknek megfelelő egyensúlyi helyzetét. Ezt észleljük az anyag alakváltozásaként. A mechanikai terhelésre bekövetkező alakváltozások a kristály rácsparamétereinek a megváltozásában tükröződnek.

A feladatunk az, hogy olyan alakváltozásokat mutassunk, melyeket a mágneses tér vagy az elektromos tér okoz.

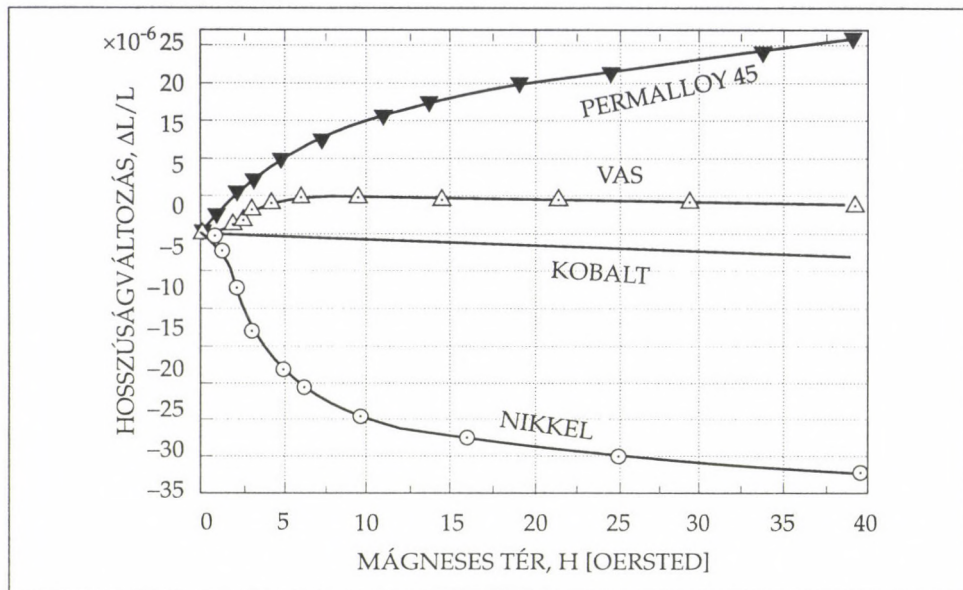
A ferromágneses anyagok a Curie-hőmérsékletük alatt mágneses tér hatására megváltoztatják az alakjukat. A 3. ábra mutatja négy polikristályos ferromágneses anyagnak [4] az anyagváltozását, a magnetostrikcióját, a mágneses tér függvényében. A magnetostrikció viszonylag kis mértékű alakváltozást jelent, amint azt az ábra is mutatja. A legnagyobb érték a nikkelnél is mindössze

$$\lambda = \frac{\Delta l}{l_0} \cong 3 \cdot 10^{-5}.$$

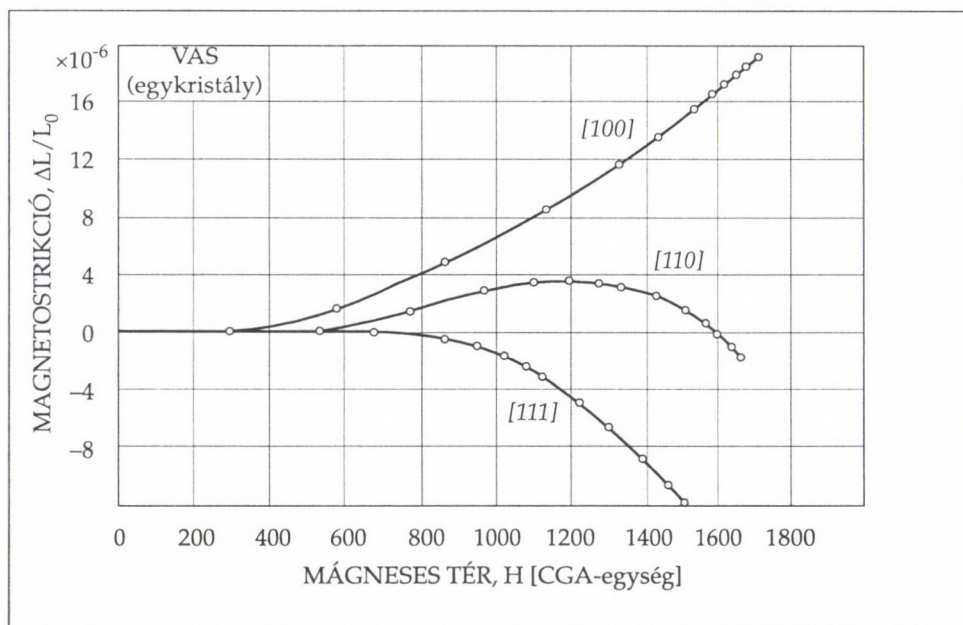
A magnetostrikció is anizotróp tulajdonság, amint azt a vasra a 4. ábra mutatja. Itt meg kell jegyezni, hogy a ferromágneses anyagokban, mint minden rendezett mágneses anyagban, az egyes atomokhoz tartozó mágneses momentumok egymással párhuzamosan állnak be. Ez a párhuzamosság azonban csak igen kis, doméneknek nevezett tartományokra vonatkozik akkor, ha az anyagot nem veszi körül mágneses tér.

A domének ugyanis nagyon kis méretűek, és például a vasban olyan tartományokat képeznek, mint amilyeneknek [5] egy az [100] síkra merőleges metszetét az 5. ábra szemlélteti. Ebből az is kitűnik, hogy az egyes domének mágneses terének iránya megegyezik a három $\langle 100 \rangle$ irány valamelyikével. Ezeket az irányokat nevezik a könnyű mágnesezési irányoknak, azoknak, melyeknek az irányában a telítéshez szükséges térerősség a legkisebb, ahogy az a 6. ábrából kitűnik. Ebből az is látszik, hogy a könnyű mágnesezési irányban a telítéshez szükséges mágnesezési energia alig ötödrésze annak, mely például valamely $\langle 111 \rangle$ irányban szükséges.

A domének ilyen felaprózódásának az az oka, hogy így csökken a rendszer szabadentalpiája. Ha ugyanis az egész anyagban a domének olyan nagyok lennének, amilyeneket a krisztallitok méretei megengednek, akkor a lágy ferromágneses anyagok is állandó mágnesekként viselkednének. Ez energiátöbblettel járna, mert az ilyen rendszerekhez külső mágneses tér is tartozik, ami meg is jelenik, ha egyszer egy egyébként semlegesen viselkedő lágy mágneses anyag mágneses térbe kerül. A Curie-pontjuknál nagyobb hőmérsékletről lehűtött anyagokban olyan doménszerkezet alakul ki, melyhez külső tér nem tartozik.



3. ábra



4. ábra

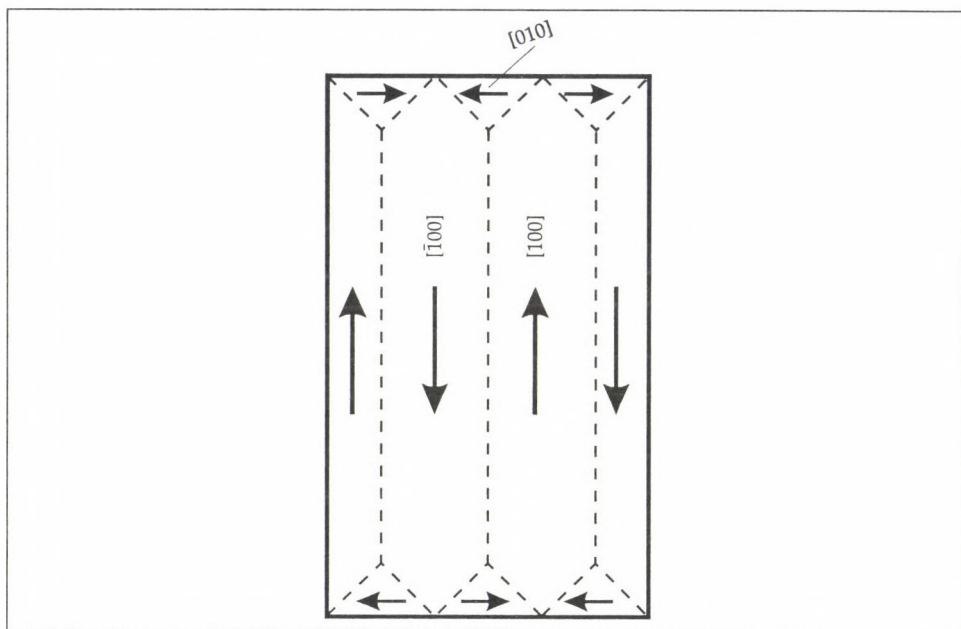
A 4. ábrából látható és a vasra vonatkozó magnetostrikciós görbék azt mutatják, hogy a könnyű mágnesezési irányban a legnagyobb és pozitív az alakváltozás mértéke. A másik két megadott irány közül az $\langle 110 \rangle$ irányokban az alakváltozásnak az értéke egy adott térerőig fokozatosan nő, majd csökkenni kezd, és végül folyamatosan növekvő negatív értékre vált. Az $\langle 111 \rangle$ irányokban pedig már negatív értékkel is kezdődik az alakváltozás, majd fokozatosan csökken. E változásoknak oka az, hogy – legyen bármilyen is az egykristály irányítottasága – a spontán mágnesezettség az előállítás és a Curie-hőmérséklet alatti hűtés során kialakulnak a domének, és azokban a mágnesezettségi irányok mindig a könnyű mágnesezettségi irányok valamelyikével párhuzamosak, ahogy azt az 5. ábra mutatja.

A 4. ábra görbéihez tartozó és az adott irányú egykristályoknak, melyek hossz tengelye az ábrában adott irányokkal párhuzamos, a domének szerkezetét a külső mágneses tér megváltoztatja, és ha lehet, megnöveli azoknak a doméneknek a térfogatát, melyek növelik az indukciót. Ez a folyamat addig tart, amíg valamennyi lehetséges és megfelelő állású domén el nem éri a lehető legnagyobb térfogatát. Ezután a külső mágneses tér az egyes doménekben az atomi mágneses momentumokat beforgatja a külső mágneses tér irányába, vagyis például az $\langle 111 \rangle$ irányítottaságú egykristályban a könnyű mágnesezési $\langle 100 \rangle$ irányokból a saját hossz tengelyének az irányába, ami ebben az esetben a külső térrel is párhuzamos. Ebből ered a rövidülés.

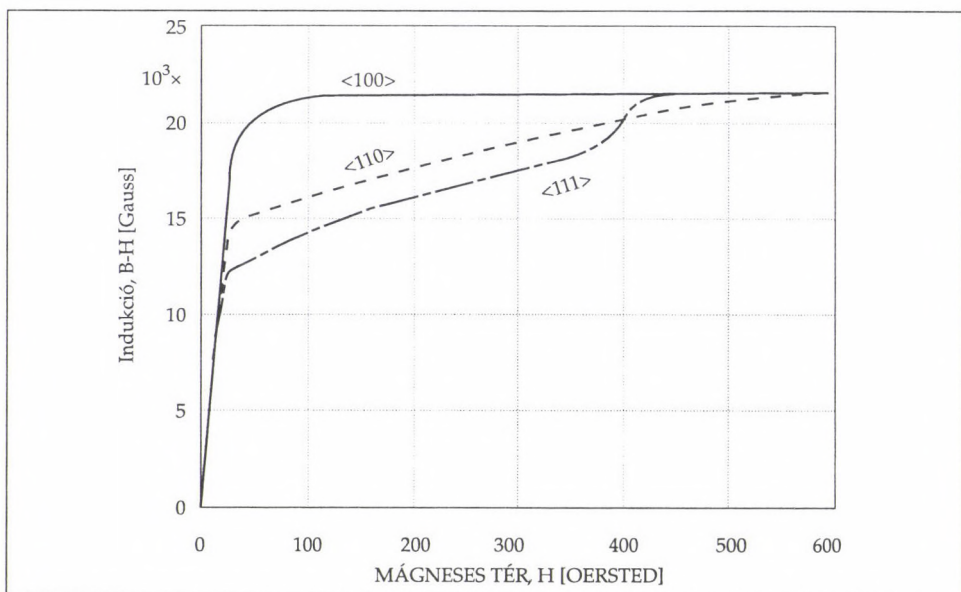
A 7. ábra a nikkal egykristályok magnetostrikcióját mutatja. A felső ábrában az egyes irányok és a külső térirány azonosak, az alsó ábra pedig a magnetostrikció okozta alakváltozásra merőleges alakváltozásokat mutatja. Az alakváltozási hányadosok értéke 0,3 körüli érték, mely hozzávetőlegesen megfelel a mechanikai terhelés okozta alakváltozásoknál is mért Poisson-hányadosnak. A kihúzott és a szaggatott vonalak közötti eltérés az egykristályok különböző előállításának tudható be. A 8. ábra a hexagonális szerkezetű kobalt egykristálynak a magnetostrikcióját mutatja különböző irányokban.

Gyakorlatilag az eddig leírtak mennek végbe valamennyi ferromágneses anyagban a külső tér hatására. Azt azonban meg kell jegyezni, hogy ha a külső tér megszűnik, akkor a magnetostrikció nem tűnik el teljesen, ugyanolyan okok miatt, mint azok, amelyek a korábban semleges lágy mágneses anyagot állandó mágnessé teszik, ha az egyszer külső mágneses térbe került. Ezt meg lehet szüntetni például azzal, hogy az anyagot a Curie-hőmérséklet fölé hevítik, és onnan lassan hűtik le.

Az anyagoknak egy másik csoportja, a ferroelektromos szilárd testek, elektromos tér hatására változtatják meg az alakjukat. Ennek a csoportnak egyik tagja a BaTiO_3 , melynek felületen középpontos elemi celláját 400°C feletti hőmérsékleten a 9. ábra mutatja. Ezt nevezik az anyag Curie-hőmérsékletének. Ugyanis



5. ábra



6. ábra

ezen a hőmérsékleten az anyag nagyon kis mértékben ugyan, de elveszti a 9. ábrán bemutatott kristályszerkezetét, és az addig semleges BaTiO_3 ferroelektromossá válik.

A kristályt tulajdonképpen ionos kötések tartják össze. A Ba^{2+} ionok az elemi cella sarkain, a Ti^{4+} ion annak középpontjában, az O^{2-} ionok pedig a felületek középpontjaiban foglalnak helyet a Curie-pontnál nagyobb hőmérsékleteken. Ezen és a kisebb hőmérsékleten a viszonylag kis helyigényű Ti ion súlypontjának statisztikus helye már nem az elemi cella középpontjában van, hanem eltolódik az elemi cella egyik élének az irányába. Ugyanis a mérete kisebb, mint amekkora annak a gömbnek a sugara, mely a 9. ábrán a szaggatottan megrajzolt oktaéder belsejében éppen elfér.

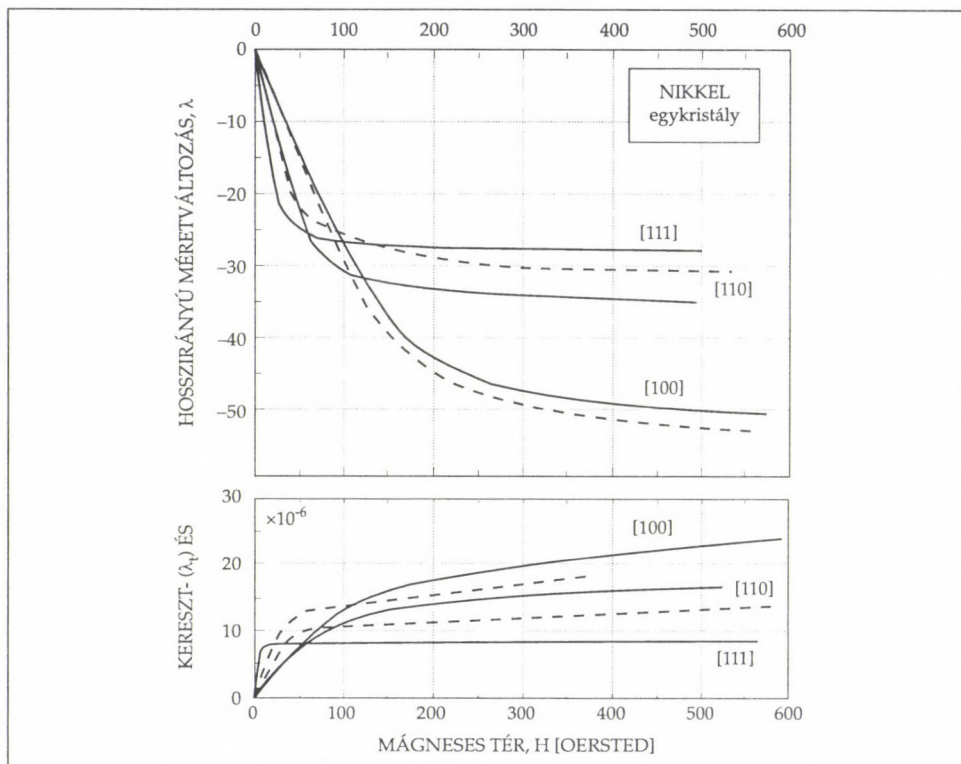
Nagyobb hőmérsékleteken a termikus rezgés energiája és a hozzátartozó rezgés amplitúdója miatt a kis Ti ion mozgásának statisztikus jellege következtében „kitölti” az oktaéder belsejét. A Curie-hőmérsékleteken és az alatt azonban a termikus rezgési energia nem elég nagy ahhoz, hogy a Ti és az O ionok közötti vonzást megszüntesse, és a Ti ion valamelyik O ionhoz kötődik. A 10. ábra mutatja a [001] síkra merőleges és az elemi cella felében elmesztett síkon az egyes ionok elmozdulását, mivel a Ti ionnak az O ionhoz kötődése miatt így alakul ki az egyensúlyi helyzet.

Az ionok elmozdulásának következtében a BaTiO_3 kis tartományai 400°C alatt állandó elektromos dipólussá változnak. Ha minden elemi cellában azonos lenne az ionok elmozdulása azzal, amit a 10. ábra mutat, akkor az anyagot elektromos tér venné körül, mely az egésznek az energiáját növelné. Ezért, hasonlóan a ferromágneses anyagokhoz, itt is olyan kis tartományok alakulnak ki, melyekben a belső elektromos tér iránya azonos, azonban a szomszédos tartományok térirányai eltérnek egymástól. Összességében ezért az anyag kifelé semleges. E vonások miatt nevezik ezeket az anyagokat ferroelektromosnak.

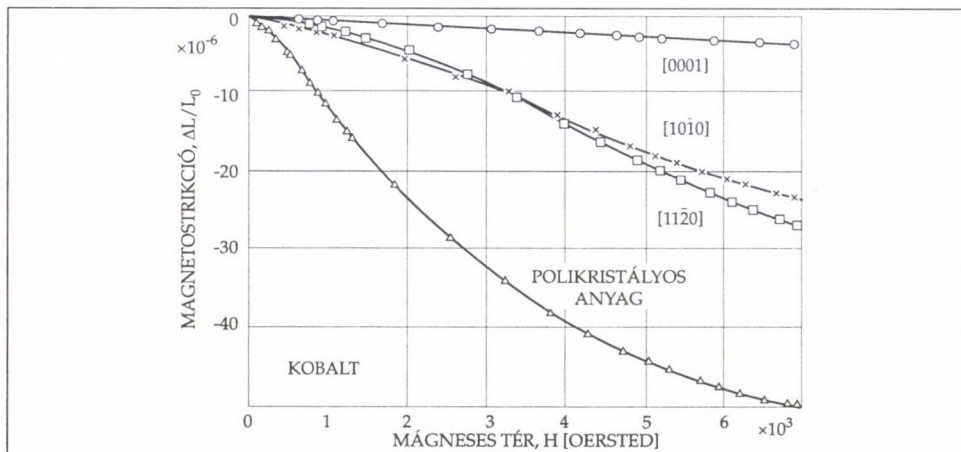
A ferroelektromos anyagok elektromos tér hatására ugyanolyan hiszterézishurkot mutatnak, mint a ferromágneses anyagok, de ebben az esetben a hiszterézishurkot jellemző koordináta-rendszernek a vízszintes tengelyén az E elektromos térerőt, a függőleges tengelyen a P polarizációt lehet leolvasni.

A piezoelektromos anyagok közé sorolunk minden olyan anyagot, mely az elektromos térerőre megváltoztatja az alakját, és fordítva, ha ezeket az anyagokat mechanikai terhelés kényszeríti alakváltozásra, akkor – az alakváltozástól függően – elektromos dipólussá válnak, és körülöttük elektromos tér keletkezik. Ezeknek a piezoelektromos kristályos anyagoknak közös jellemzőjük, hogy nincs szimmetria-középpontjuk.

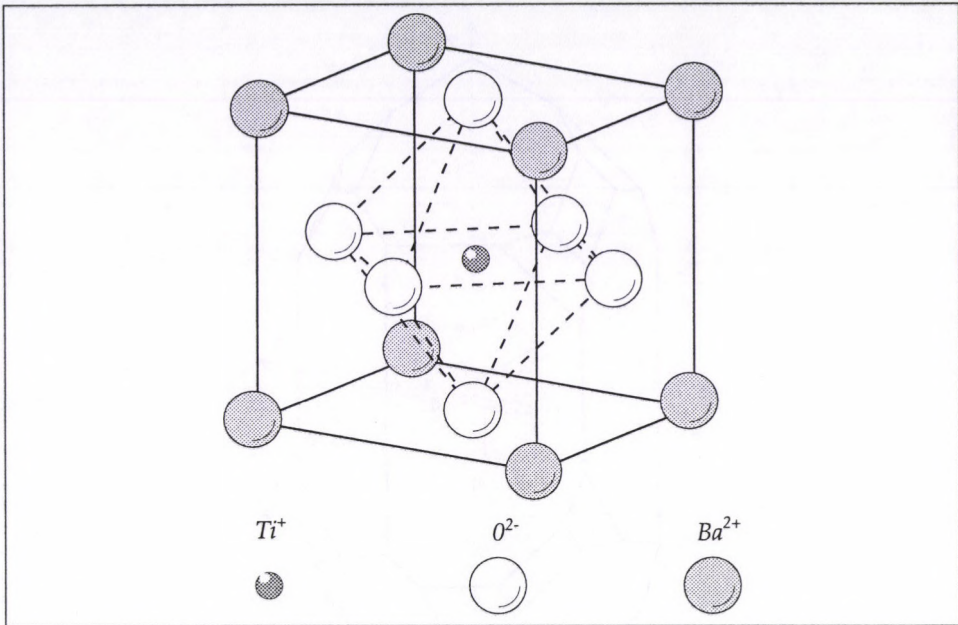
A piezoelektromos anyagok között a Rochelle-sók és a kvarc a legismertebbek, de természetesen minden olyan anyagban, melyben a kristály rácspontjaiban elektromosan töltött részecskék foglalnak helyet, és nincsen szimmetria-közép-



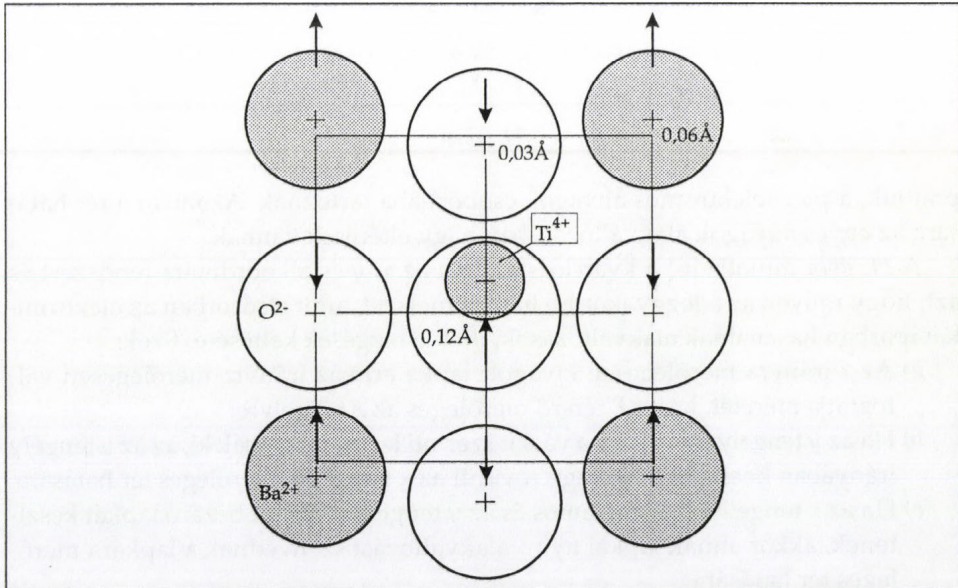
7. ábra



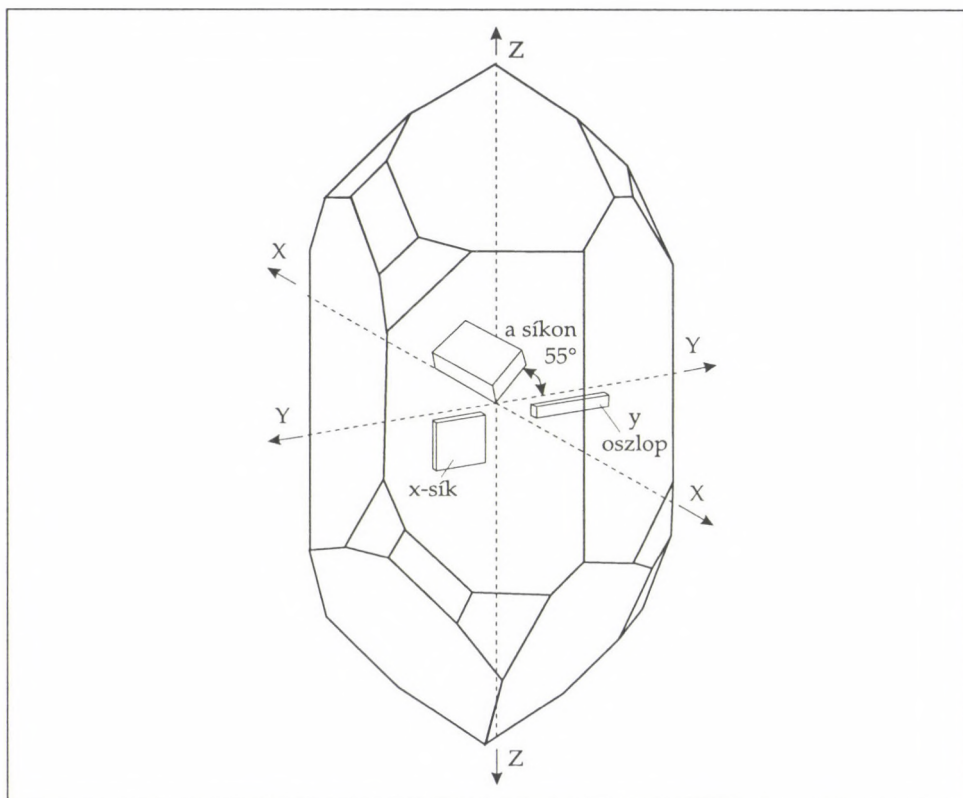
8. ábra



9. ábra



10. ábra



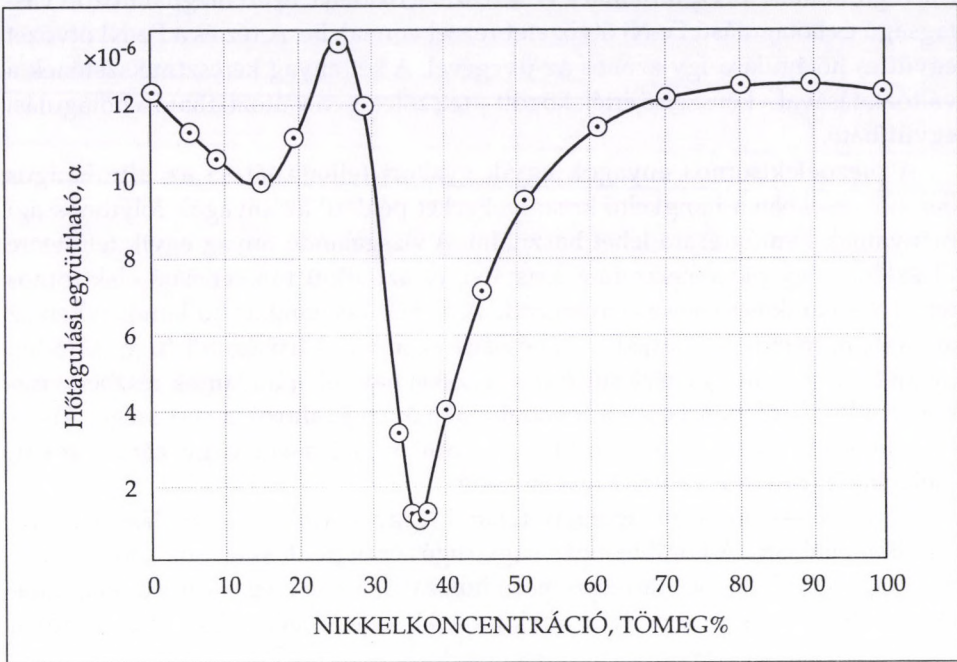
11. ábra

pontjuk, a piezoelektromos anyagok csoportjába tartoznak. Azonban a tér hatására az egyes anyagok alakváltozásában nagy eltérések vannak.

A 11. ábra mutatja [6] a kvarckristályban az x , y és z koordináta-rendszert és azt, hogy milyen az a leggyakoribb három metszet, amit elsősorban az elektronikai iparban használnak alakváltozások, illetve rezgések keltésére. Ezek:

- Az x irányra merőlegesen kivágott lapka erre az irányra merőlegesen változtatja méretét, ha az E térerő merőleges az x tengelyre.
- Ha az y tengely irányában a vázlat szerinti kis rudat vágják ki, az az y tengely irányában hosszabbodik vagy rövidül az x tengelyre merőleges tér hatására.
- Ha az x tengellyel párhuzamos és az y tengellyel 55° -ot bezáró lapkát készítenek, akkor annak lapkái nyíró alakváltozást szenvednek a lapkára merőleges tér hatására.

A BaTiO_3 szintén úgy viselkedik, mint a piezoelektromos anyagok abban az esetben, ha a térerő nem elég nagy arra, hogy az anyagnak legalább egy kis részé-



12. ábra

ben a Ti ionokat úgy mozdítsa el, hogy azok az eredetitől eltérő O ionhoz kapcsolódjanak.

A vázolt alakváltozások vagy a tér hatására jönnek létre, vagy fordítva, ha mechanikus kényszer változtatja az anyagot, akkor az anyag semlegessége megszűnik, és mágneses vagy elektromos tér alakul ki körülöttük.

Az ismertetett alakváltozásokat a korszerű technika egyre szélesebb körben használja ki.

A magnetostrikció egyik érdekes felhasználási területe az, hogy bizonyos hőmérsékleti intervallumban a Fe-Ni ötvözetek hőágulási együtthatója több mint egy nagyságrenddel kisebb, mint általában a gyakorlatban használt fémeké. (Lásd a 12. ábrát.) Ugyanis a hőágulással szemben hat a Ni negatív magnetostrikciója, és ez okozza a szokatlanul ki hőágulást. Ezt például többek között az elektromos izzólámpákba az üvegen keresztül vezetett áram melegítő hatásának kiegyenlítésére használják.

A lámpa burkolata üveg, és annak hőágulása azonos kell hogy legyen annak az elektromos vezetőknek a hőágulásával, melyen az áramot bevezetik a lámpa burájába. Egyébként vagy törik a burok, ha az elektromos vezető hőágulása nagyobb, mint az üvegé, vagy a fordított esetben a vezető mellett a burába hatol

a levegő, aminek az O_2 -tartalma a W izzószálat oxidálja. Ezért meghatározott vastagságú és hőtágulású Fe-Ni ötvözetet rézzel vonnak be. A réz és a Fe-Ni ötvözet együttes hőtágulása így azonos az üvegével. A két anyag keresztmetszetének a változtatásával – két szélső érték között – tetszőlegesen változtatható a hőtágulási együttható.

A piezoelektromos anyagok egyik gyakori felhasználása az ultrahangos berendezésekben a hangkeltő kristály. Ezeket például az anyagok folytonossági hiányainak kimutatására lehet használni. A vizsgálandó anyag egyik felületére illesztenek egy piezoelektromos kristályt, és azt adott frekvenciájú elektromos térrel mechanikus rezgése kényszerítik. A rezgés mechanikus hullámokat kelt az anyagban, melynek a terjedési sebessége az anyag sűrűségétől függ. Minden olyan felületről, mely eltérő sűrűségű részeket határol, a hullámok részben visszaverődnek, részben pedig a tovahaladóknak megváltozik a sebessége. Alkalmas berendezésekben így ki lehet mutatni repedéseket vagy zárványokat, melyeknek sűrűsége az alapanyagétól eltér.

A piezoelektromos anyagoknak talán a leggyakoribb felhasználása a kvarc-órákban található. A korábbi ingás vagy rugós órák pontosságához képest ezeké nagyságrendekkel jobb. Természetesen hosszan lehetne még sorolni a felhasználási területeket, de az egy ilyen áttekintő cikk terjedelmét messze meghaladná.

Irodalom

1. Cottrell, A. H.: *The Mechanical Properties of Matter*. John Wiley and Sohn, 1963.
2. Hutchison, T. S. and Baird, D. C.: *The Physics of Engineering Solids*. John Wiley and Sohn, 1968.
3. Mantell, C. L.: *Engineering Materials Handbook*. McGraw-Hill, 1958.
4. Bozorth, R. M.: *Ferromagnetism*. Van Nostrand, 1953.
5. Prohászka J.: *Bevezetés az anyagtudományba*. Tankönyvkiadó, Budapest, 1988.
6. *The New Encyclopaedia Britannica*. 1985, vol. 18, 335.

Az erőművi főberendezések megbízhatósága

1. Bevezetés

A villamosenergia-rendszer megbízhatósága a rendszert alkotó elemek, köztük az erőművek, ezen belül az erőművi főberendezések megbízhatóságától függ. Ezek megbízhatósága ugyanakkor annak a függvénye is, hogy az erőművi főberendezés anyagának igénybevétel során bekövetkező szerkezetváltozása elérte-e az irreverzibilitás határsávját.

Ennek megállapítása csak és kizárólag a helyesen megválasztott anyagmodellel elvégzett mechanikai számítások és az anyagszerkezeti változások nyomon követésének ismerete alapján lehetséges. *A mechanika és az anyagtudomány kölcsönhatása és egymásra utaltsága megkérdőjelezhetetlen.*

Az erőművi főberendezések (kazán-turbina-generátor) megbízhatósága ezek szerkezeti elemeinek megbízhatóságától függ, így például a kazánoknál a csőrendszer, a kamrák, a kazándob stb. biztonságos működése meghatározó fontosságú.

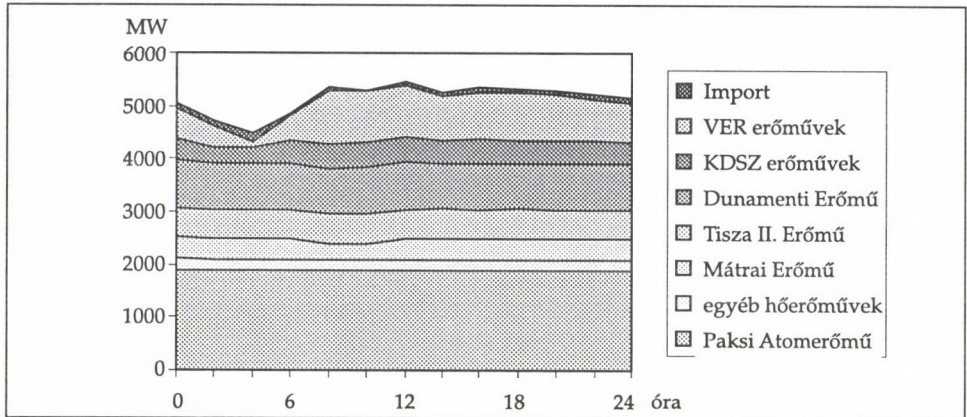
2. A biztonságos működés alapfeltételei

- a helyes anyagmegválasztás,
- a korrekt méretezés,
- a helyes gyártás- és szereléstechnológia,
- a helyes üzemvitel, az előírásoknak megfelelő üzemeltetés,
- korrekt diagnosztikai módszerek alkalmazása (rendszeres karbantartás).

2.1. A helyes anyagmegválasztás feltételei

A helyes anyagmegválasztás feltétele az üzemi igénybevételek és ezek egymásra hatásának pontos ismerete az egyes főberendezések szerkezeti elemeiben:

- mechanikai igénybevétel,
- termikus igénybevétel,



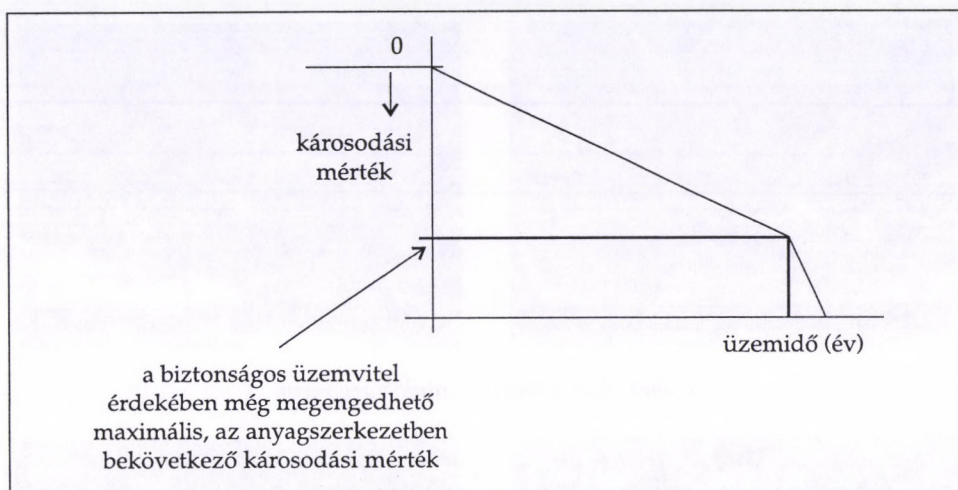
1. ábra. A hazai villamos terhelés megoszlása 1998. december 9-én

- korróziós igénybevétel,
- sugárzásos igénybevétel,
- esetleges egyéb igénybevételek.

A változó mechanikai és hőigénybevételek esetenként a beépített anyagok kis ciklusú fáradását okozhatják, és a jelenség a kúszással együtt fejt ki károsító hatást. Kazánok tűzterében az egyenlőtlen hőmérséklet-eloszlás az úgynevezett nyúláslokalizáció jelenségéhez vezet, amely tovább gyorsítja az adott szerkezeti elem tönkremenetelét. A korróziós igénybevételek okozta falvastagság-csökkenés és a sugárzásos igénybevétel következtében létrejövő elridegedési folyamat a szükséges alapadatok ismeretében számítással jól követhető és a kritikus mértékű degradáció bekövetkezésének ideje előre becsülhető.

2.2. Korrekt méretezés

A stacioner és a tranziens üzemállapotokban ébredő feszültségek figyelembevétele egyaránt fontos. Az egyes erőművek indításakor és leállításakor keletkező feszültségek az üzemi adatok ismeretében kiszámíthatók, és a beépített anyag meghatározott tulajdonságait ismerve, többek között meghatározható az egyes anyagokra vonatkozó megengedett felfűtési sebesség értéke.



2. ábra. A megengedhető maximális károsodási mérték (elvi ábra)

2.3. Helyes gyártás- és szereléstechológia

Az ezek során keletkező belső (maradó) feszültségek minimalizálása nagy jelentőségű. Különösen fontos, hogy az eltérő falvastagságú elemek hegesztése utáni úgynevezett feszültségcsökkentő hőkezelést rendkívüli gondossággal, előre megtervezett módon hajtsák végre.

2.4. Helyes üzemvitel

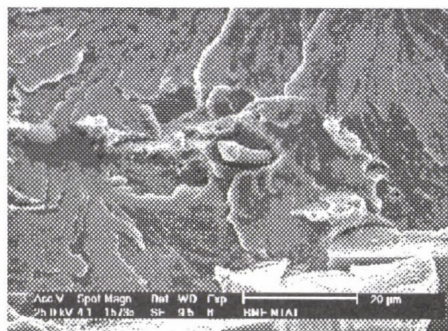
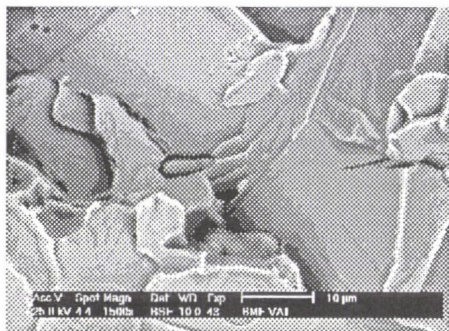
A hazai erőművek üzemeltetésének jellege az alábbiak szerint csoportosítható:

- alapjáratás,
- menetrendtartás,
- csúcsra járatás.

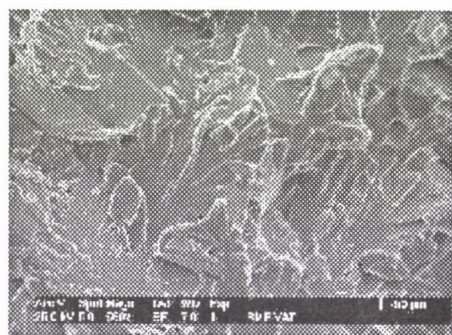
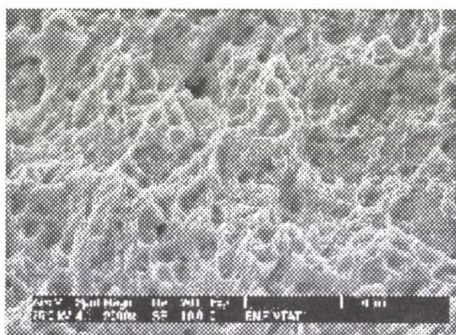
Az 1. ábra – példaként – a villamos terhelés megoszlását mutatja 1998. december 9-én Magyarországon.

2.5. Korrekt diagnosztika (rendszeres karbantartás)

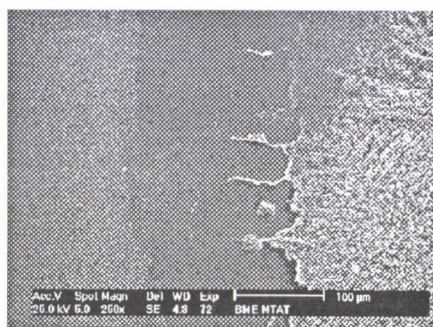
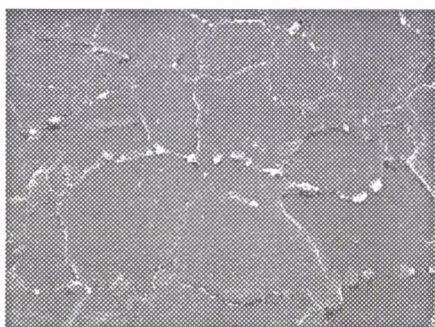
Az anyagokban a kúszás-fáradás kölcsönhatásaként bekövetkező károsodási folyamat előrehaladásának nyomon követése, esetenként az „on-line” diagnosztikai módszerek alkalmazásával (szükség és lehetőség szerinti regenerálás), meg-



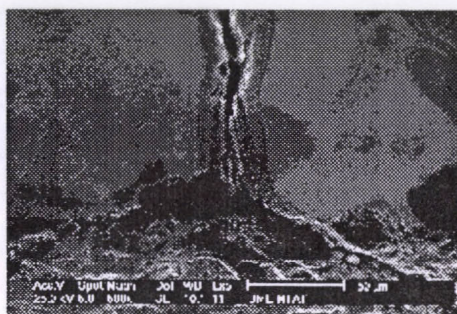
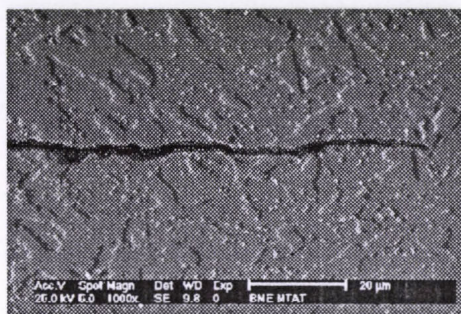
3. ábra. Acélokban előforduló zárványok



szívós töret rideg töret
 4. ábra. Töretfelületek pásztázó elektronmikroszkópos felvételei



5. ábra. Replikavizsgálatok eredményei



6. ábra. Acélokban kialakuló repedések

határozó jelentőségű abból a szempontból, hogy a lehető leggyorsabban tudjuk becsülni a vizsgált anyag károsodási folyamata során a reverzibilis és az irreverzibilis anyagszerkezeti változásokat elválasztó határsávhoz tartozó üzemidőt.

A 2. (elvi) ábra szemlélteti a biztonságos üzemvitel érdekében még megengedhető maximális, az anyagszerkezetben bekövetkező károsodási mértéket. Eddigi – több, mint 30 éves – tapasztalataink (a vonatkozó nemzetközi tapasztalatokkal összhangban) azt mutatták, hogy az úgynevezett *Schijve-skála* szerinti „mérnöki repedésméretetek” (~ 0,1 mm) jelenléte az erőművi főberendezések anyagaiban már irreverzibilis anyagszerkezeti változások feltűnését jelentik. A diszlokációmozgások következtében létrejövő mikroüregek és üregláncok jelenléte még a reverzibilis károsodások tartományába sorolható, s ezek megjelenésének várható ideje az adott anyag igénybevétele alapján meghatározható nyúlásamplitúdó-értékek ismeretében elegendő pontossággal előre becsülhető.

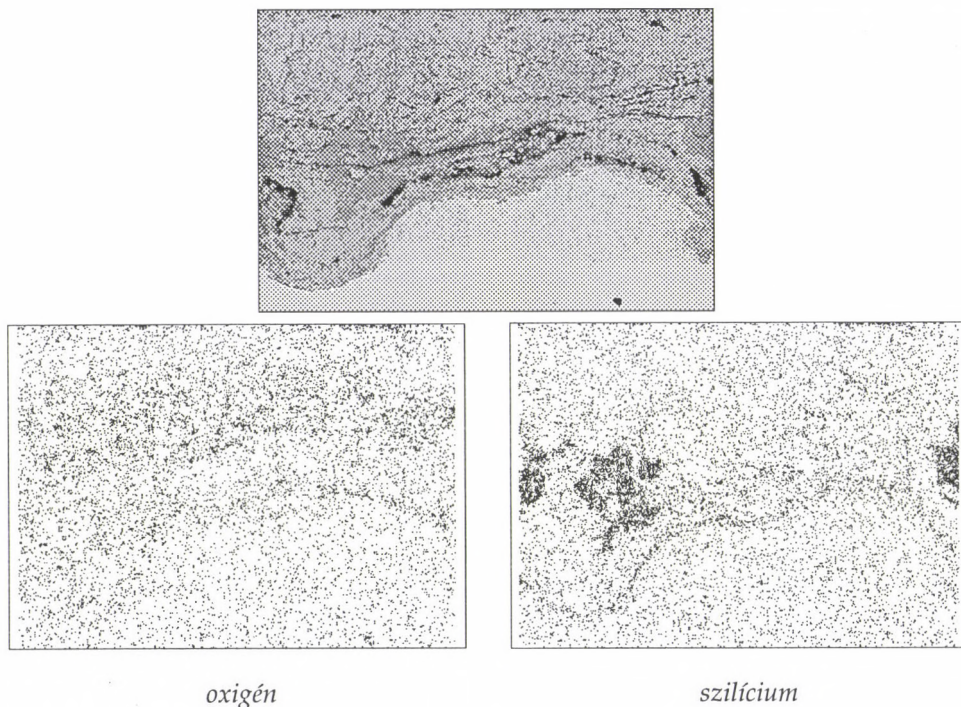
3. A károsodás nyomon követése pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálatokkal

A 3. ábra acélokban előforduló zárványok pásztázó elektronmikroszkópos felvételeit mutatja.

A zárványok – különösen ha a szemcsehatárokon helyezkednek el – gyakran jelentik a károsodás (üregképződés) kiindulási helyeit.

A 4. ábra töretfelületek pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálatának eredményeit mutatja. A szívós töret statikus jellegű „túligénybevétel” következtében létrejövő törés felületét szemlélteti, szemben a például kazándoboknál helytelen nyomáspróba következtében létrejövő rideg törés jellegével.

Mindkét jellegzetes töretfelület jól megkülönböztethető a fáradásos repedés-terjedésre jellemző pásztázó elektronmikroszkópos felvételeken látható „traktor-nyomoktól”.



7. ábra. Acélon kialakuló reveréteg pásztázó elektronmikroszkópos képe, valamint az oxigén és a szilícium röntgen-eloszlástérképe

Az 5. ábra magas hőmérsékleten üzemelő csövek replikavizsgálatának eredményeit mutatják; az ábrákon jól láthatók a kúszási üregek és a hegesztési varrat repedései.

A 6. ábra acélokban előforduló mechanikai, illetve termikus hatás következtében kialakuló repedéseket szemléltet.

Amennyiben a károsodást a kúszás „vezérli”, a repedések általában interkrisztallin jellegűek, jól megkülönböztethetően a fáradási folyamat által „vezérelt” transzkrisztallin jellegű repedésterjedésektől.

A 7. ábra a korrózió hatása következtében az acél felületén kialakuló primer reve szemlélteti. A röntgentérképeken megfigyelhető az oxidban található oxigén és szilícium eloszlása.

4. Összefoglalás

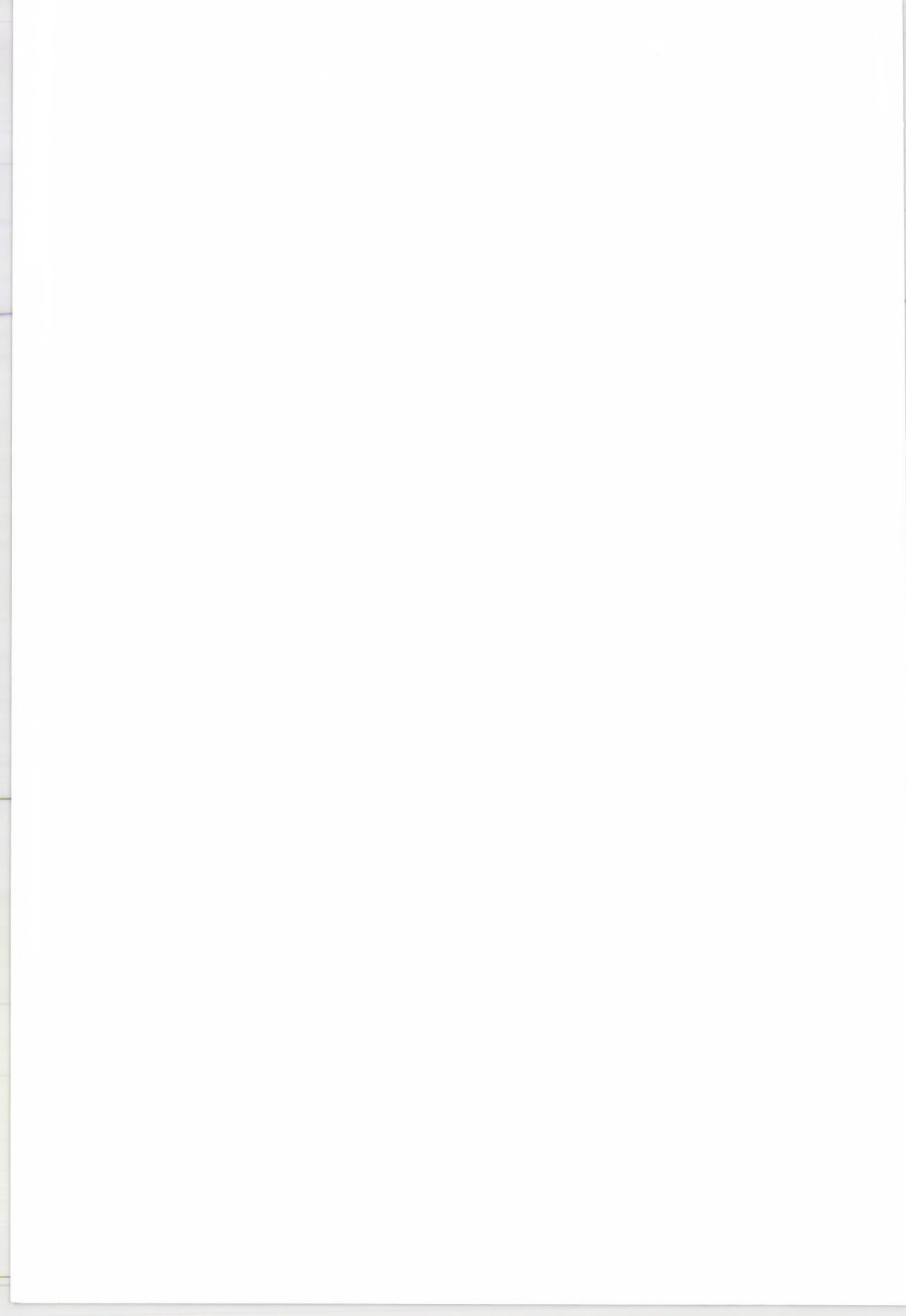
A biztonságos villamosenergia-ellátás egyidejűleg azt jelenti, hogy az üzemi és lakossági fogyasztóknak egyaránt rendelkezésre áll a megfelelő hálózati feszültség.

A különböző igénybevételekből meghatározható *feszültségek* (mechanikai és hőfeszültségek, stacioner és tranziens üzemállapotban fellépő feszültségek) és a megválasztott *anyag* – az üzemidő és az anyagra ható üzemi igénybevétel függvényében meghatározható – mértékadó tulajdonságai közötti összhang hiányában *üzemzavarok* keletkezhetnek, esetenként *áramkorlátozásokat* kell életbe léptetni.

Amennyiben nincs hálózati feszültség, és ez a lakosságot is érinti, kialakulhat a társadalmi feszültség, amely társadalmi feszültségek elkerülésének egyik módja az üzembiztos villamosenergia-ellátás. Ennek alapfeltétele a korszerű *mechanikai* és *anyagtudományi* ismeretek együttes alkalmazása.

Irodalom

- [1] Pich, R.: Berechnung der elastischen, instationären Wärmespannungen in Platten, Hohlzylindern und Hohlkugeln mit quasistationären Temperaturfeldern. *Mitteilungen der VGB. H.*, 87. Dez. 1963. 373–393, *Mitteilungen der VGB. H.*, 88. Feb. 1964, 53–60.
- [2] Ayob, A. B. – Moffat, D. G. – Mistry, J.: Load Interaction in Pressurized Structures Using the Finite Element Method. *International Journal of Pressure Vessel and Piping*, 1977, 73, 3–9.
- [3] Component Reliability under Creep-Fatigue Conditions. *International Centre for Mechanical Sciences, Udine Course 389*. Ed: by János Ginsztler and R. Peter Skelton. Springer, Wien, New York, 1998, 1–242.
- [4] Dénes, É. – Szabó, P. J.: Investigation of Oxidation Processes of Steel Under Laboratory and Industrial Circumstances. *X-ray Spectrometry*, megjelenés alatt.
- [5] Dévényi, L. – Bagi, I.: Damage of Weathering Steels. *Proc. First Conference of Mechanical Engineering*, Vol. I. 74–77. Springer Hungarica Kiadó, Budapest, 1998.
- [6] OVT-Közlemények. *MVM Közleményei*, XXXVI. évf., 1. sz. 1999. febr., 47.



Laza szemcsés anyagok mechanikája

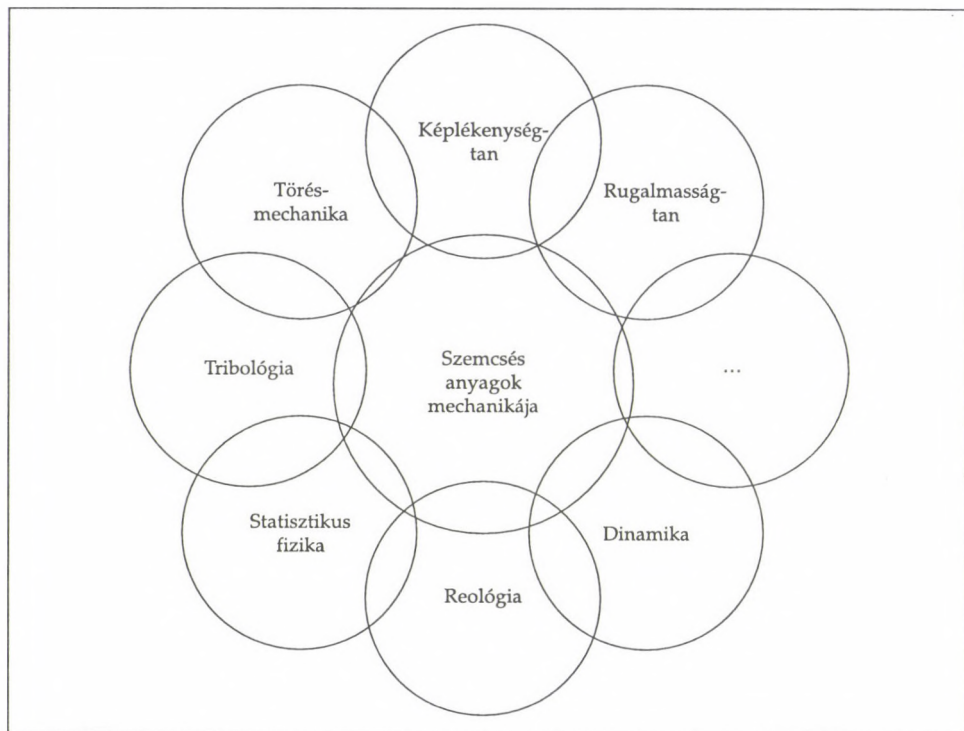
Bevezetés

A ma szemcsés anyagok mechanikája néven ismert témakör jelenlegi formájában az utóbbi 15-20 év szülötte. Létrejöttében a klasszikus mechanika számos más tudományterülete volt érdekelt. Az a szinergikus együttműködés, ami megszületését lehetővé tette, nemcsak az alkotó területektől kapott tudásanyagot, hanem számos ismerettel gazdagította is magukat az alkotókat, olyan eredményeket, modelleket, numerikus szimulációs eljárásokat teremtve, amelyek sokszor igen jól hasznosíthatók voltak teljesen más természetű feladatok megoldására.

Jó áttekintést ad a közreműködő tudományterületekről az 1. ábra. A felsorolás korántsem teljes, hiányzik belőle például a talajmechanika, az áramlástan (hogy csak a legfontosabbakat említsük), és a sort hosszan lehetne folytatni.

Mi a célja a szemcsés anyagok speciális kezelési módjának, miért alakult ki önálló tudományterület az ilyen anyagok vizsgálatára? A választ részben gazdasági, részben fizikai (mechanikai) alapokról indulva célszerű megfogalmazni. Az előbbi nem tartozik közvetlenül cikkünk szorosan vett témájához, ezért csak röviden utalunk rá: az utóbbi évtizedekben a különböző fém- és műanyag porok, a gyógyszervegyészet egyes (porként modellezhető) termékei stb. ipari felhasználása sokszorosára nőtt a korábbi évtizedekben megszokotthoz képest. Fokozódott a hadiipar érdeklődése is: a szilárd üzemanyagú rakéták katonai elterjedése szorosan kötődik a finom porok tömörítési technikáinak fejlődéséhez, a bennük lejátszódó folyamatok pontosabb ismeretéhez. Ez a gazdasági háttér természetesen nem maradt hatás nélkül, és komoly támogatást nyújtott például egyes költségesebb kísérletek elvégzéséhez. Természetesen a gazdaság más területei is érintettek: például egyes szemes termények tárolási problémái (gabonasilók), a talajmechanika bizonyos feladatai mind igénylik az anyag viselkedésének jobb megismerését.

Mechanikai szempontból a vizsgált anyag különlegességét az adja, hogy nincs egyetlen más olyan – szilárd vázzal rendelkező – anyag sem, amely olyan mérték-



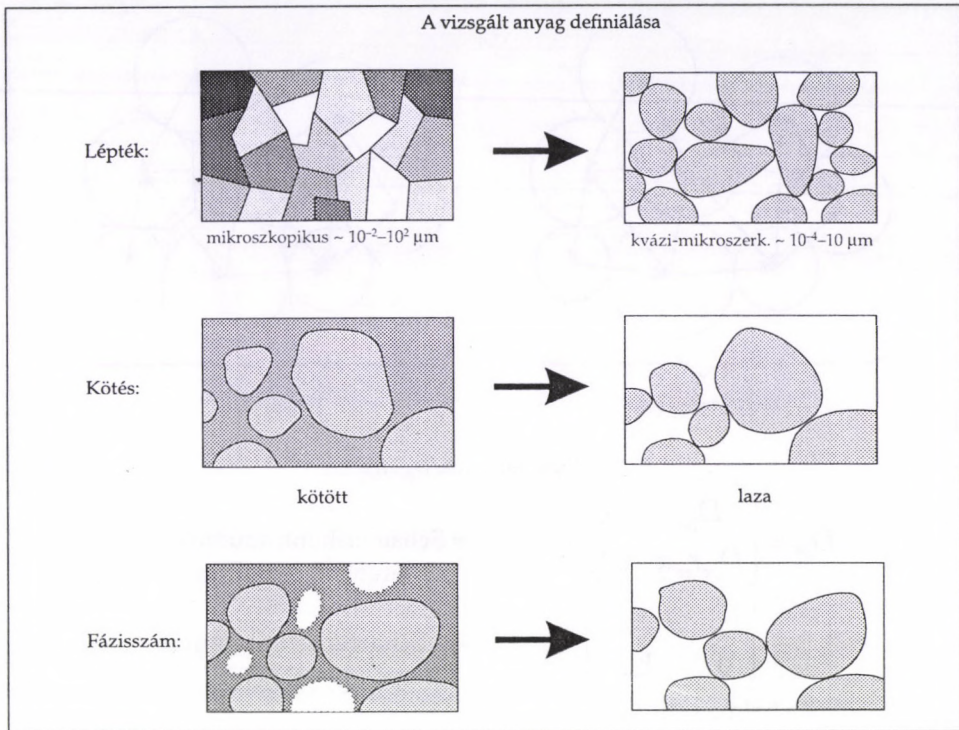
1. ábra

ben volna képes átrendeződésre, mint a laza szemcsés anyagok. Mechanikai tulajdonságaik (makroszintű teherviselő képesség, lazulás-tömörödés, áramlásokban, mint például lavinákban tanúsított viselkedésük stb.) legfontosabb meghatározója ez a sajátosságuk, ez különbözteti meg őket minden más, a mérnöki gyakorlatban szokásosan használt anyagtól. Ez a különбözőség olyan mértékű eltéréseket okoz mind az alkalmazott vizsgálati módszerekben, mind a vizsgálati céloknál, hogy indokoltta vált ezt a témakört a mechanika önálló részterületeként kezelni.

A vizsgált anyag definiálása

A nemzetközi tudományos közélet három paraméter alapján szokta osztályozni a szemcsés anyagokat (lásd a 2. ábrát): a számításoknál alkalmazott *lépték*, a szemcsék között létrejövő *kötés típusa* és a struktúrát alkotó *fázisok száma* alapján.

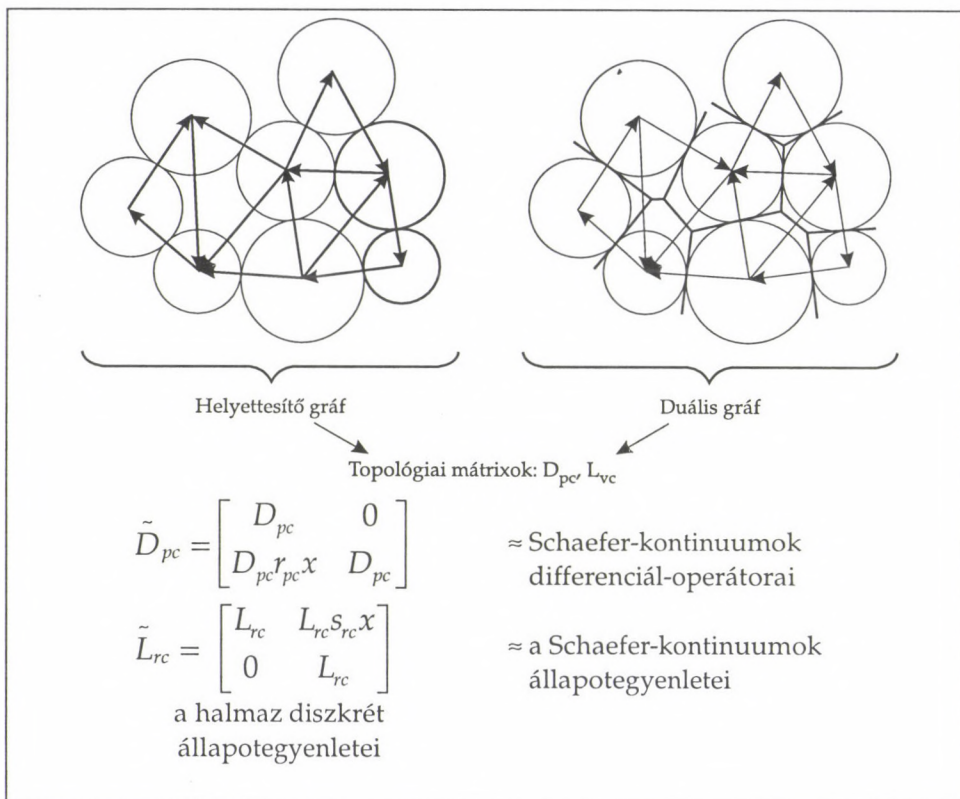
Természetesen ezek az osztályozási elvek nem mentesek teljesen a szubjektív elemektől. Például a legtöbbször alkalmazott kváziszerkezet-mérettől ($\approx 10^{-4}$ m: finom porok, kvarcszemcsék stb.; ≈ 10 m: kőzetlavinák, jéghegyek stb.) való eltér-



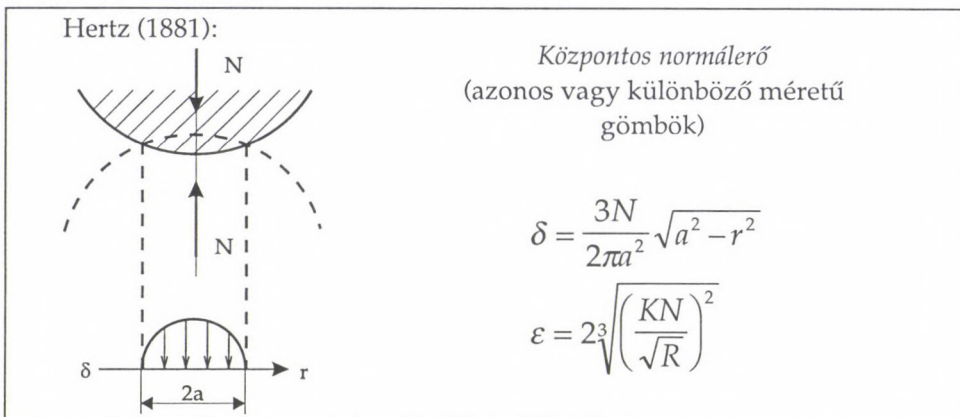
2. ábra

rés elvileg mindkét irányban lehetséges, a „szokásos” méretek alatti tartományoknál rendkívül finom, laza struktúrák vizsgálhatók (természetesen figyelembe véve az itt esetleg már dominánssá váló nem mechanikai erők hatását), a másik irányban, rendkívüli mértékben növelve a méreteket, ad absurdum egy csillagrendszer is tekinthető lenne „szemcsés halmaznak”. A kötéstípusnál is lehetséges fontos, érintkező határterületi vizsgálat: ha az anyag szemcséi között nyomóerőn és súrlódási hatásokon kívül húzóerők (és esetleg nyomatékok) felvételére is képes a kapcsolat, a vizsgált halmaz átalakul, mechanikai viselkedése teljesen más lesz. „Fordított” irányból is érdekes lehet ez a jelenség: egy eredetileg szilárd vázzal, jelentős belső kötési szilárdsággal rendelkező anyag a tönkremenetel során mikrorepedések kialakulásával és összefűződésével, majd fokozatos felaprózódással alakulhat át olyan laza halmazzá, amely minden tekintetben megfelel a 2. ábra jobb oldali oszlopában összefoglalt feltételeknek.

A fázisszámnál megadott definíció alól is van kivétel, hiszen például a talajmechanikában sokszor fontos lehet a vízzel részben vagy teljesen átitatott szemcsés anyagok vizsgálata, de ugyanilyen fontos a folyadék jelenléte és hatása az



3. ábra



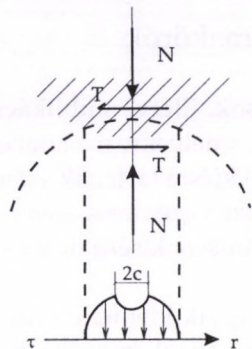
4. ábra

Cattaneo (1938):

Mindlin (1949):

Mindlin & Deresiewicz (1953):

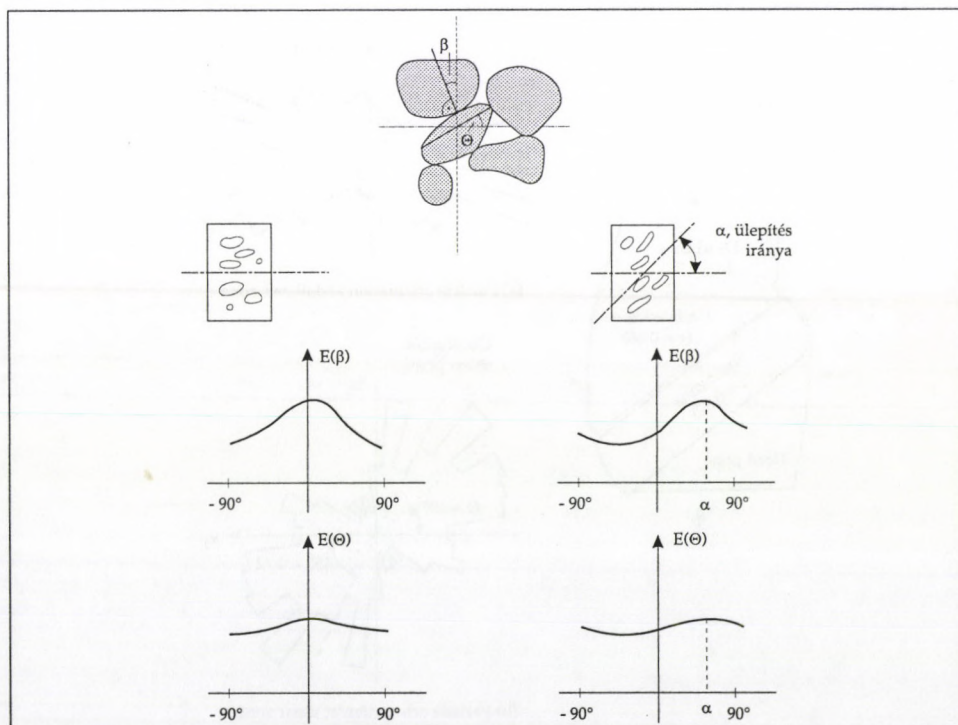
Normál- és nyíróerő
együttes hatása
(azonos méretű gömbök)



$$\tau = \begin{cases} \frac{3fN}{2\pi a^2} \sqrt{a^2 - r^2} & \text{ha } c \leq |r| \leq a \\ \frac{3fN}{2\pi a^2} \left[\sqrt{a^2 - r^2} - \sqrt{c^2 - r^2} \right] & \text{ha } |r| \leq c \end{cases}$$

$$\gamma = \frac{I(2-\nu)fN}{16Ga} \left[1 - \sqrt[3]{\left(1 - \frac{T}{fN}\right)^2} \right]$$

5. ábra



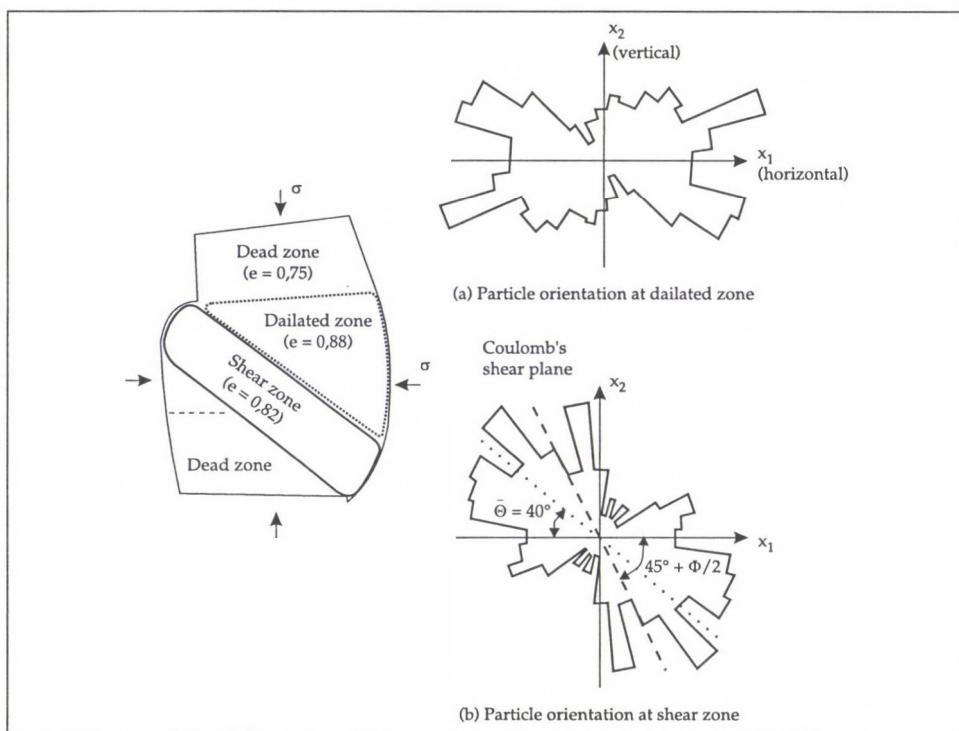
6. ábra

áramló zagyok tulajdonságainak vizsgálatakor. Mindezzel azt kívánjuk hangsúlyozni, hogy a 2. ábrán megadott specifikáció nem merev korlátot jelent, csupán a *domináns* hatásokat jelöli ki, amelyeket indokolt esetekben természetesen értelem-szerűen tágíthatunk.

A jelenleg vizsgált fontosabb problémakörök

A nemzetközi szakirodalom, a fontosabb kongresszusok, illetve publikációk ismeretében körvonalazható néhány olyan kutatási téma, amelyekre ma koncentrált vizsgálatok irányulnak, és amelyek igen nagy érdeklődésre tartanak számot világszerte. Ez az összefoglalás természetesen csupán jelzi a szemcsés anyagokkal kapcsolatban folyó vizsgálatok sokszínűségét, és korántsem kísérli meg akár-csak vázlatosan is bemutatni az összes kutatási témát.

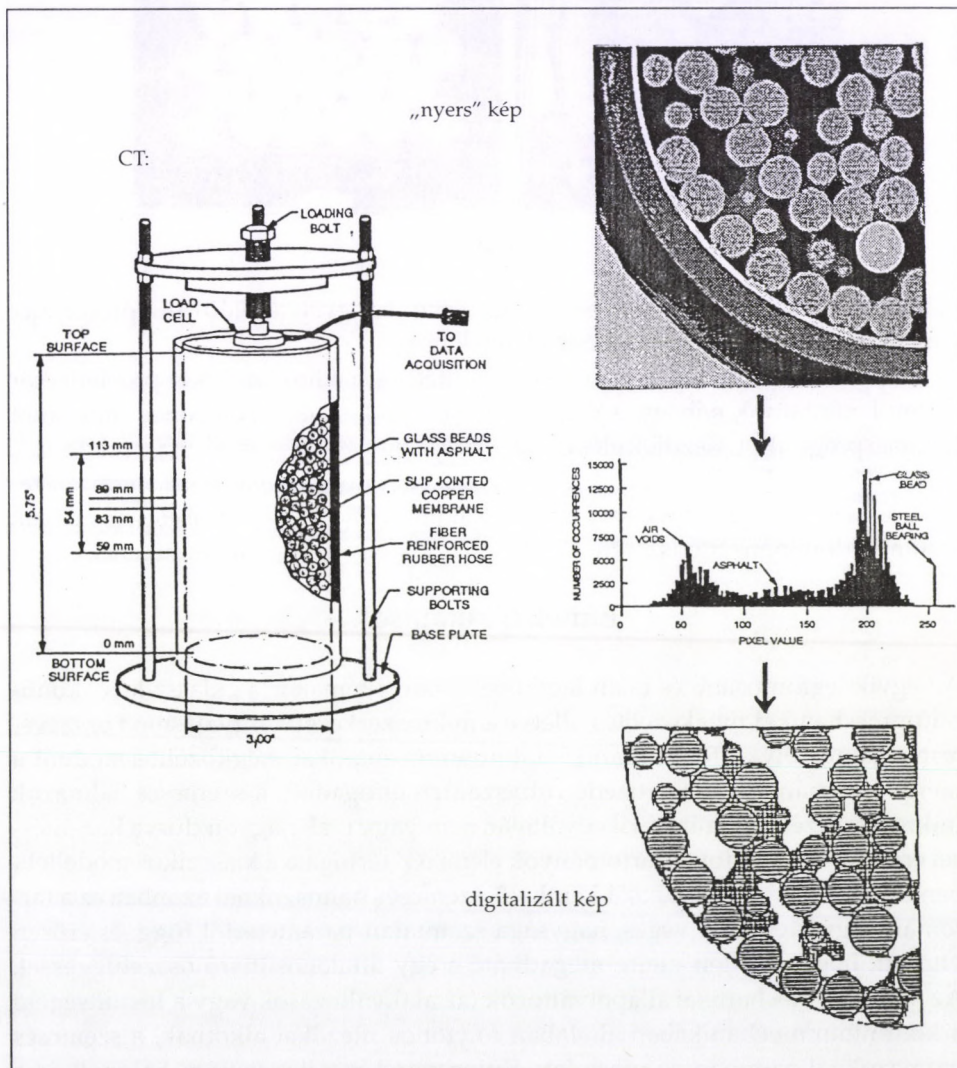
A kvázistatikus viselkedést elemző kutatásoknál az egyik kiemelten fontos terület a *mikro- és makrováltozók* közötti kapcsolatok leírása, annak kutatása, hogy a gyakorlati célokra használható makro-anyagmodellek miként volnának átala-



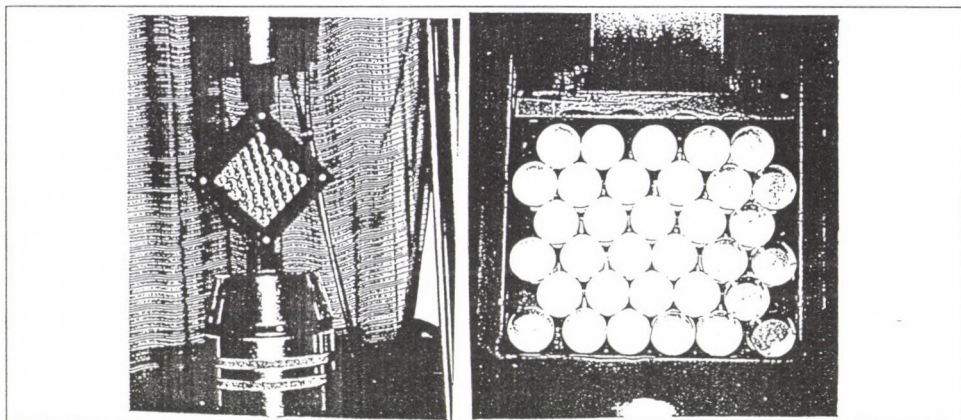
7. ábra

kíthatók (bővített vagy esetleg teljesen új szempontok alapján felépített formában) megbízhatóbb számítások céljaira. Ennek a nagyon bonyolult, összetett feladatnak a megoldására részben a belső *geometriai* struktúra vizsgálata, részben a mikroszintű *kölcsönhatások* elemzése tartozik a fontosabb vizsgált célok közé.

A *dinamikus* viselkedés kutatása is igen változatos területet jelent. A különféle anyagok áramlása (kő- és jégárvák, csővezetékekben áramló, folyadékkal vagy



8. ábra



9. ábra

valamilyen gázzal mozgatott halmazok), a siló- és egyéb tárolóürítési problémák gazdaságilag is fontos feladatként jelennek meg.

Illusztrálásul ezekhez a vázlatosan említett témákhoz mindkét problémakör esetén bemutatunk néhány, a maga nemében fontosnak, jellemzőnek minősített kutatási programot. Kezdjük először az *elméleti kutatások* témáival, majd folytassuk a *laboratóriumi*, illetve a *numerikus szimulációkra* építő vizsgálatokkal. Természetesen ezek az esetek jelentős részében nem különíthetők el egymástól élesen, mi csak a kutatás domináns módszerére hivatkozhatunk egy-egy téma említésénél.

Elméleti kutatások

Az egyik legfontosabb és talán legtöbbet vitatott témakör a „klasszikus” kontinuummechanikai megközelítés, illetve a mikroszerkezeti tárgyalásmód összevetése. Számos olyan feltétel, ami kontinuummechanikai megközelítésmódnál a mérnökök számára sok évtizede rutinszerűen elfogadott, a szemcsés halmazok mikroszerkezeti vizsgálatánál egyáltalán nem vagy csak nagyon durva közelítéssel érvényes. A folytonos tartományok elemi ΔV térfogata a klasszikus modellekben minden határokon túl csökkenthető, szemcsés halmazoknál azonban ez a tartomány egyértelműen véges, nagysága számtalan paramétertől függ, és erősen vitatott, hogy minden esetre megadható-e egy általánosítható összefüggéssel. Az alapvető mechanikai állapotváltozók (az alakváltozások vagy a feszültségek) a kontinuummechanikában általában folytonos mezőket alkotnak, a szemcsés halmazoknál azonban ez nincs így. Külön gond a mikroszinten használt és a makrostruktúra állapotának jellemzésére alkalmazott változók összekapcsolása, és természetesen alapelveit tekintve is megválaszolatlan a mikroszerkezet alap-

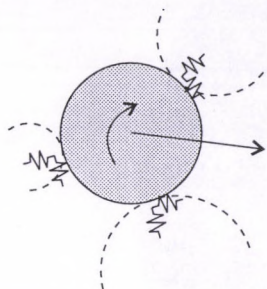
– Kishino, 1988

– Bojtár & Bagi, 1988

a szemcsehalmaz egyensúlyi állapotának keresése

→ közelítő eljárások

→ globális egyensúlyi egyenletrendszer



$$\underline{\underline{K}}\underline{u} + \underline{q} = \underline{0}$$

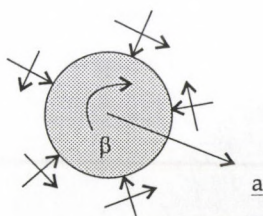
10a ábra. Kvázistatikus modellek

– Cundall, 1978

– Cundall, 1986

– Moreau, 1993

a szemcsemozgások közelítő követése véges időlépésekben



$$\underline{F} = m\underline{a}$$

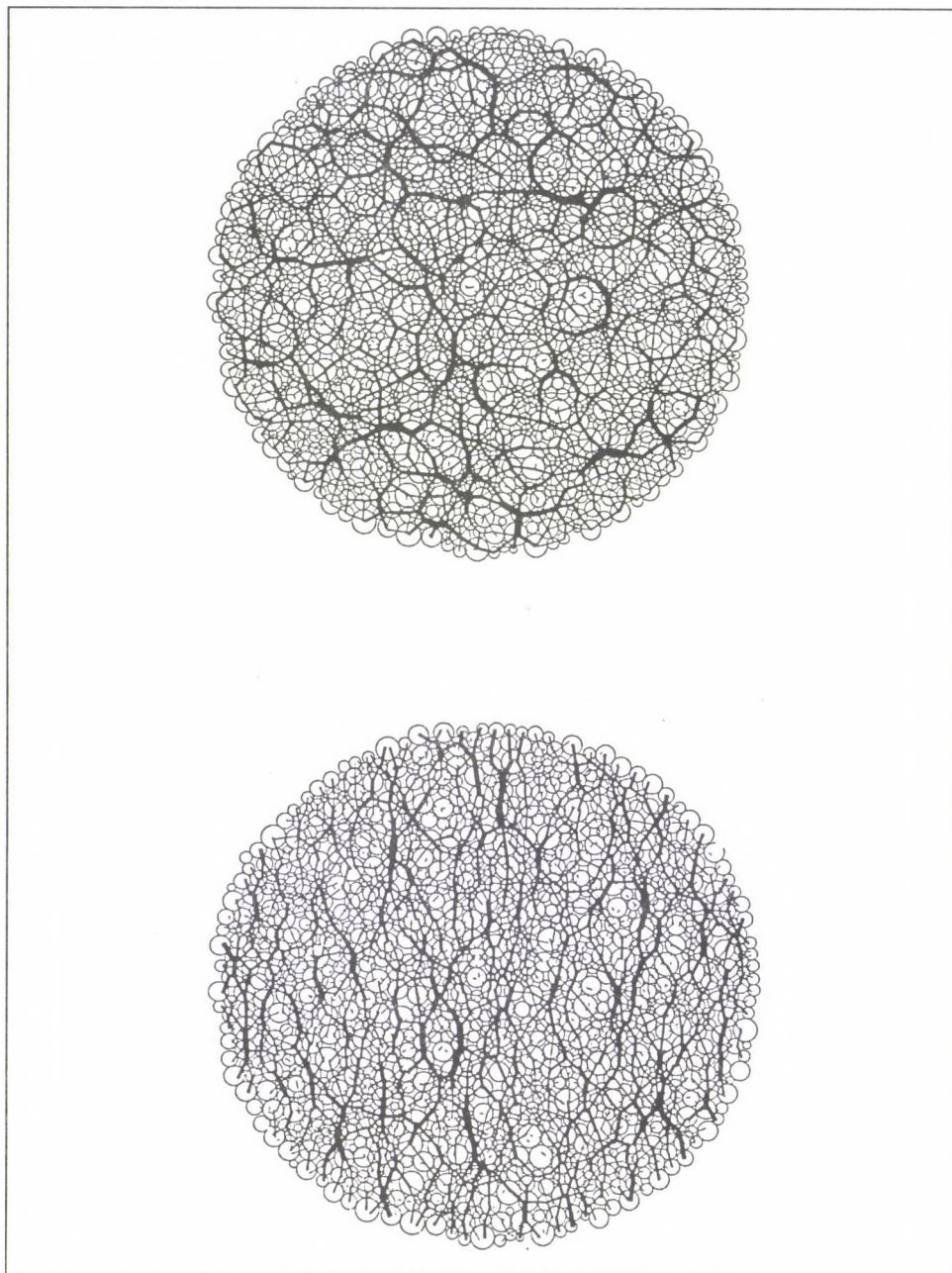
$$M = I \cdot \beta$$

10b ábra. Dinamikus modellek

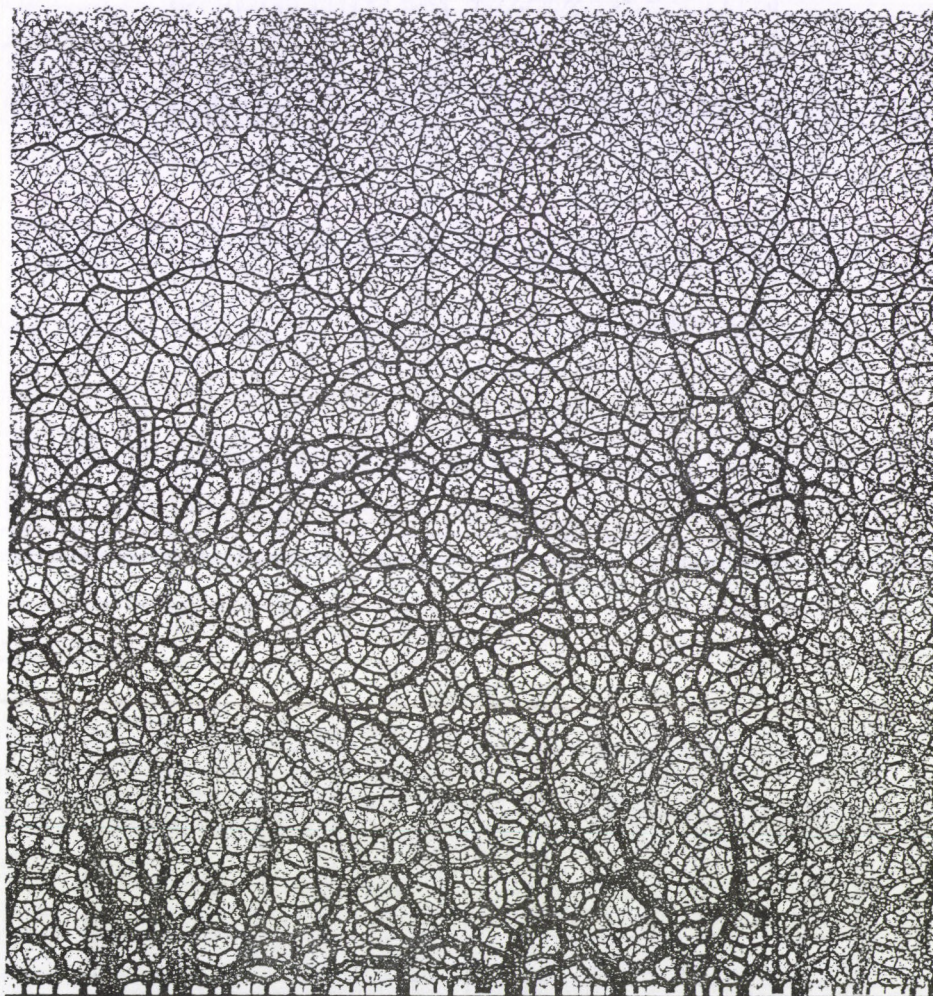
ján felírható anyagmodell-egyenletek struktúrája is, hiszen a kontinuummechanika többé-kevésbé standardizált kísérletekre építő fenomenológiai modellalkotása itt nem vagy csak nagyon áttételesen, sok korlátozással kerülhet felhasználásra.

A fenti problémák vizsgálatában kiemelkedő jelentőségű a japán M. Satake munkássága. Gráfelméleti kutatásai (például [19], [20], [21], lásd még a 3. ábrát is) bizonyították, hogy szabályos alakú szemcsékből álló halmazok esetén a Schaefer-féle (Cosserat-típusú) kontinuumok viselkedésével analóg típusú állapotegyenletek írhatók fel a gráfok felépítését jellemző topológiai mátrixok segítségével.

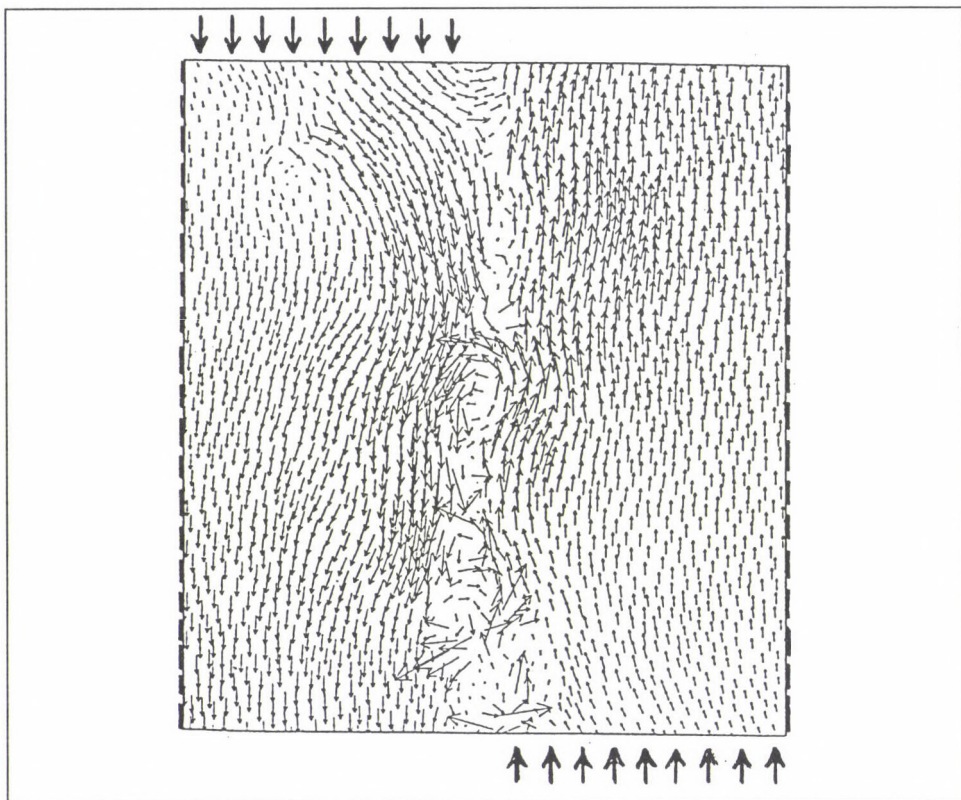
Ezzel párhuzamosan B. Cambou elvi megfontolások alapján kutatta és kutatja ma is, hogyan lehetne összekapcsolni a mikroszintű állapotváltozókat a két klasz-



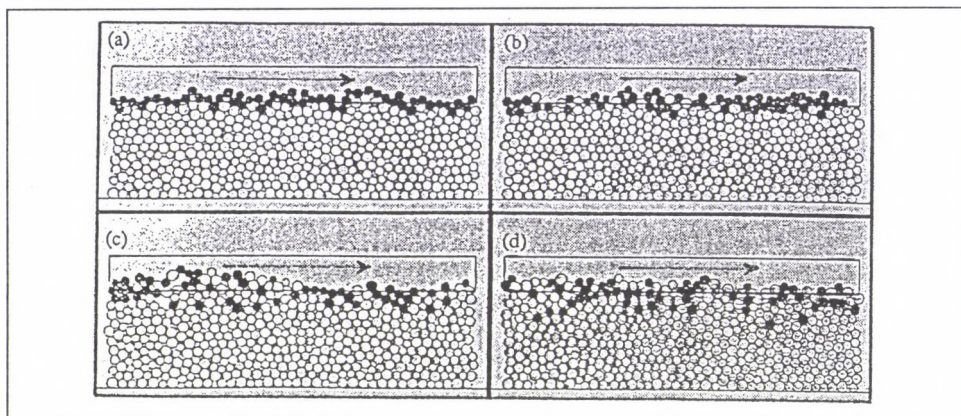
11. ábra



12. ábra



13. ábra



14. ábra

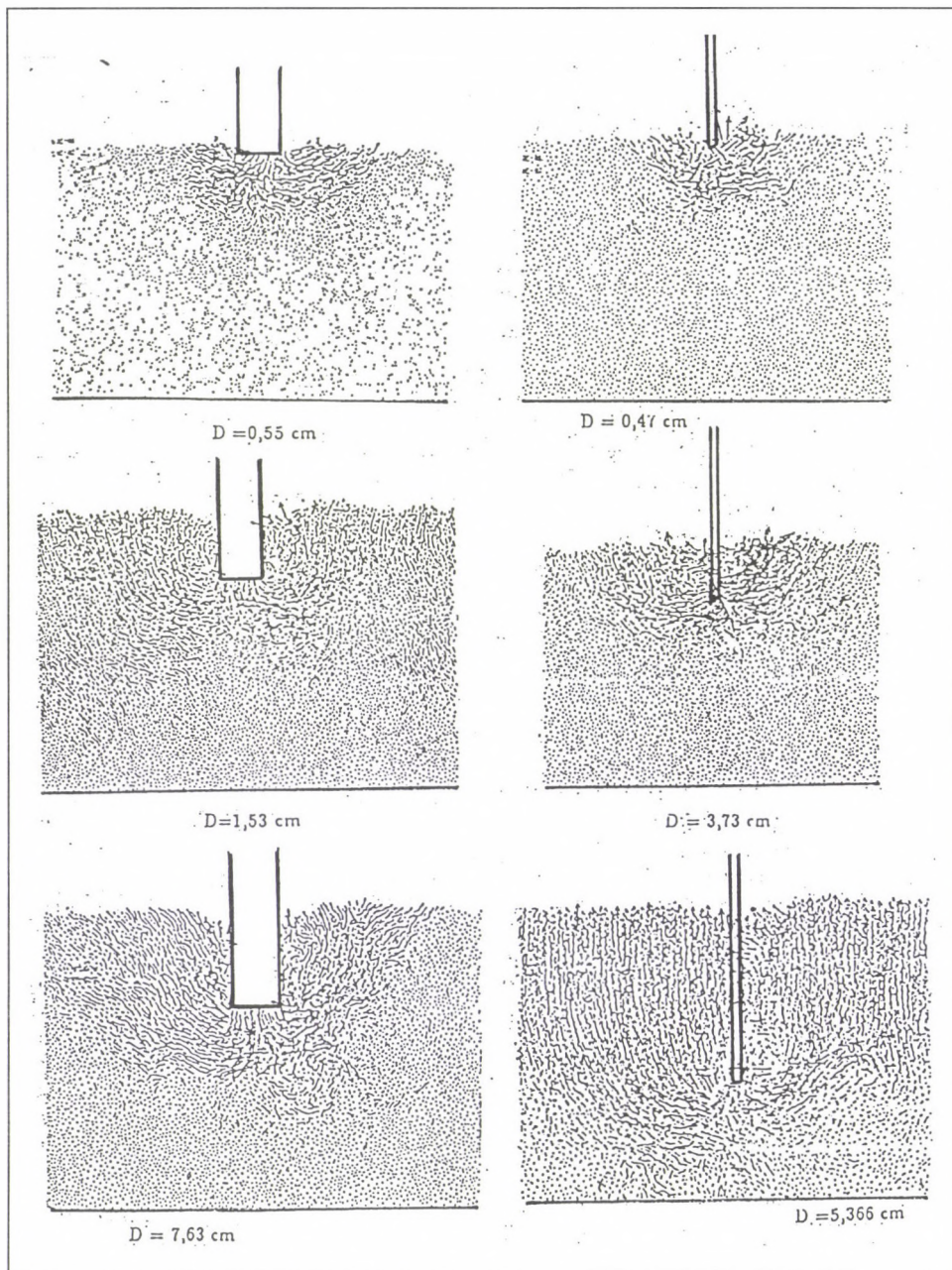
szikus makro-állapotváltóval. Lokalizációs eljárásával a közelmúltban előrejelzéseket adott a különféle mikrováltozók átlagainak alakulására adott makrováltozók esetén [6], [7]. K. Bagi az ellenkező irányú kapcsolatot vizsgálta, amikor levezette, hogyan fejezhető ki a klasszikus kontinuummechanika alakváltozás- és feszültségtenzora a szemcsék eltolódásai, illetve az érintkezéseknél átadódó erők segítségével [3]. Levezetéseiből meglepő elméleti következtetés adódott: a diszkrét szemcsékből álló anyagokban a két klasszikus változó csak egymástól *eltérő* tartományokra értelmezhető, így elvileg nem kezelhetők összetartozó változóként.

A mikrostruktúra szintjén érdekes és szép elméleti probléma az egyes szemcsék között fellépő érintkezési erők jellegzetességeinek vizsgálata (bár megjegyezzük, hogy ezek mechanikai fontossága alatta marad a szemcseváz átrendeződéséből adódó hatásoknak). A 4. *ábra* a több mint egy évszázada ismert Hertz-modellt [13], az 5. *ábra* pedig a századunk közepén született Cattaneo–Mindlin–Deresiewicz-modellt [16] szemlélteti. Mivel az utóbbi igen nehézkesen kezelhető, újabb analitikus modellek pedig azóta sajnos nem születtek, az érintkezési hatások jellemzésére a kutatók szívesebben használják az egyszerű Coulomb-súrlódással kiegészített Hertz-modellt.

Laboratóriumi vizsgálatok

A különféle laboratóriumi kísérletek az 1970-es évektől kezdve sok értékes információt szolgáltatottak a mikrostruktúra viselkedésének megértéséhez. Elsőként M. Oda nevét említjük, aki úttörő munkát végzett a mikrogeometria elemzésében. Első híres kísérletsorozatában [17] például különböző terhelési folyamatoknak kitett minták üregeit töltötte fel rendkívül híg, de szilárdulás után igen erős kötést adó ragasztóval, majd az így „befagyasztott” terhelt állapotot vizsgálta mikroszkóp alatt, vékony rétegekre szeletelve a mintát. Mérései (lásd a 6. *ábrát*) a kapcsolati normálvektorok terhelési iránnyal bezárt szögének fontosságára hívták fel a figyelmet. Ugyancsak érdekesek például az egyszerű nyomott halmazokon végzett kísérletei [18], amelyekkel a nyírt zónák jellegzetességeit elemezte (7. *ábra*). Felhívta a figyelmet a nyírt zónákon belüli jelentős elfordulási hatásokra, illetve a részecskék terhelésiránynak megfelelő elrendeződésére.

Egyes kísérletek a mai technika legmodernebb vívmányait is felhasználják annak érdekében, hogy minél jobban megismerhessük a belső szerkezet terhelés közbeni átalakulási folyamatait. Pozitronemissziós vizsgálatokkal, MRI (Magnetic Resonance Imaging), illetve ipari CT-k (komputertomográf) alkalmazásával mind gyakrabban találkozhatunk a szakirodalomban. Jó példa a tomográfvevételek használatára a 8. *ábra* képsorozata: híg aszfalttal kitöltött üvegszemcsék terhelés alatti átrendeződését követték nyomon a digitalizált képek segítségével [15].



15. ábra

Tanszékünkön a 90-es évek közepén az energetikai folyamatok jobb megértése érdekében végeztünk laborkísérleteket. Hőszigetelt fémkeretbe helyezett különböző anyagú és különböző szemeloszlásnak megfelelő méretű korongokat ciklikus nyírási és nyomási terheknek vetettünk alá (lásd a 9. ábrát), és a terhelések során érzékeny termokamerával mértük a hőváltozásokat, az érintkezési pontokban, illetve az átrendeződések során disszipálódó hőmennyiséget. Ezt a kísérletsorozatot kiegészítettük a terhelések során felszabaduló akusztikus energia mérésével is.

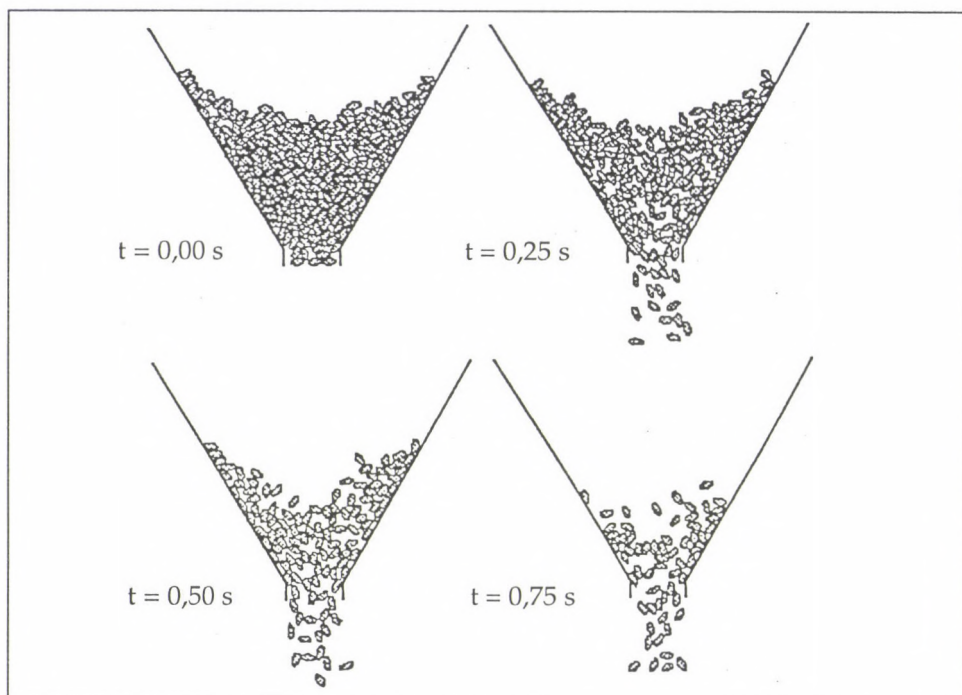
Egyes dinamikai folyamatok laboratóriumi szimulációja is tanulságos eredményekre vezethet. Jó példa erre N. E. Abriak és R. Gourves [1] munkája (10. ábra), akik különböző silómodelleken végzett kísérletekkel vizsgálták az ürítési zónában kialakuló áramlási viszonyokat.

Numerikus szimulációk

A vizsgálati módszerek harmadik köre, a numerikus szimulációk ma igen népszerűek a lehetséges kutatási módszerek között. A vizsgálati modellek széles választékából kereshetjük ki a számunkra optimálisat, és a modell belső paramétereit megfelelően beállítva, az anyagi viselkedés finom változásait, tetszőleges teherkombinációk hatását stb. követhetjük nyomon. Külön előnye a numerikus modelleknek a tényleges laborkísérletekhez viszonyított olcsóságuk.

A ma létező modellek alapvetően két nagy csoportba sorolhatók. A *kvázistatikus* modellek alapjait Bagi K. és Bojtár I. dolgozták ki a 80-as évek végén [2], [4]. Itt a szemcsék fokozatos elmozdulásai a rúdszerkezetek harmadrendű elméletével analóg módon, globális egyensúlyi egyenletrendszer segítségével követhetők (lásd a 10. a ábrát). A modell előnye – a kezdeti stabil konfiguráció könnyű előállíthatósága mellett – az eljárás stabil viselkedése; hátránya viszont az igen nagy gépidő- és tárigeny. A *dinamikus* modellek kidolgozásában P. A. Cundall [8], [9], [10] végzett úttörő munkát. Az ilyen modellek (lásd a 10. b ábrát) minden egyes szemcsét külön vizsgálnak erőtani szempontból, Newton gyorsulás-erő-törvénye alapján, így nincs szükség globális egyenletrendszer felírására. A szemcsék alakja elvileg tetszőleges lehet, de a létező modellek legtöbbször kör vagy gömb, esetleg ellipszis vagy ellipszoid alakú szemcséket alkalmaznak. A dinamikus modellek hátránya, hogy a kiindulási vizsgálati halmaz generálása meglehetősen körülményes, illetve, hogy az eljárás igen érzékeny a belső paraméterek megválasztására, emiatt könnyen instabillá válik a viselkedése. Óriási előnye viszont a gyorsasága, ezért alkalmazása jóval elterjedtebb, mint a kvázistatikus modelleké.

Nagyon sok kutató (köztük mi magunk is) használta a Cundall-modellt különböző feladatok elemzésére. Jó illusztráló példa C. Thornton [22] munkája a belső erők hálózatának elemzéséről, a kezdeti izotróp feszültségállapot biaxiális



16. ábra

terheléssé átalakult külső hatásából keletkező erővonal-átrendeződés követéséről (11. ábra).

Számos elméleti kérdés megoldása támogatható numerikus szimulációkkal. Segítségükkel sikerült kimutatnunk például (Bojtár és Bagi [5], 12. ábra) a csúszólapokon keletkező örvénylések Cosserat-kontinuumra utaló sajátosságait, illetve a kapcsolati erők hálózatának fraktáljellegét (13. ábra).

Haff, Jiang és Forrest [12] szemcsés anyagok rétegeinek áramló folyadékok alatti keveredését (a szennyeződések mélyebb talajrétegekbe való bejutását) vizsgálták (14. ábra). Gourves, Oudjehane és Zhou [11] szintén gyakorlati problémával foglalkoztak, amikor penetrométeres tesztek szimuláltak (15. ábra) különböző anyagokkal és rúd méretekkel, a talaj dinamikus válaszát felhasználva annak szilárdsági jellemzésére. Közlésük szerint igen jó egyezést kaptak a valós anyagokon mért laboratóriumi és a numerikus szimulációkból nyert eredmények között.

A különféle silóürítési feladatok szimulációjának egy jellegzetes példáját szemlélteti a 16. ábra. Hogue és Newland [14] szabálytalan alakú szemcsékkel feltöltött siló ürítését modellezték.

Ma már annyira elterjedtek ezek a modellek, hogy a talajmechanika speciális problémáitól a nanotechnológiáig, a fáradt törések elemzésétől kezdve a csúszólapok vizsgálatán át a képlékeny alakításig vagy akár a földrengés-vizsgálatokig rendkívül sokféle feladat elemzésére alkalmazzák őket – olyan problémák kezelésére is, amelyek messze túlmutatnak a laza szemcsés halmazok kutatásán.

Összefoglalás

A szemcsés anyagok mechanikájának kutatói az elmúlt két évtizedben – ötvözve számos más tudományterület tudásanyagát – koncentrált erőfeszítéseket tettek egy speciális, a gyakorlati élet számára nélkülözhetetlen anyagfajta mechanikai tulajdonságainak jobb megértésére. A mikrostruktúra következetes elemzésével, az elméleti, laboratóriumi és numerikus vizsgálatok együttes alkalmazásával számos részletkérdést sikerült megnyugtatóan tisztázni, de az „igazi” áttörés, a mikrostruktúra hatásának a makromodellekbe való egyértelmű, megbízható (és lehetőleg nem túl bonyolult) beépítése még nem sikerült. Ennek ellenére már ma is egyértelműen kijelenthetjük, hogy – saját feladatainak elemzésével párhuzamosan – a laza szemcsés anyagok mechanikája a mechanikán belüli társtudományok számára számos esetben adott hatékony eszközt problémáik vizsgálatához, gazdagítva ezzel is a mechanika egészének tudástárát.

Irodalom

1. Abriak, N. E.–Gourves, R.: Influence of the nature of walls on the flow of granular material. In *Powders and Grains 93*. Ed. C. Thornton, Balkema, 1993, 449–450.
2. Bagi, K.: A quasi-static numerical model for micro-level analysis of granular assemblies. *Mechanics of Materials*, 1993, Vol. 16, 1–2, 101–110.
3. Bagi, K.: Stress and strain in granular assemblies. *Mechanics of Materials*, Vol. 22, 1996, 165–177.
4. Bojtár I.: Szemcsés közegek numerikus mikrostruktúra-vizsgálata. *Építés–Építéstudomány*, 1989, 1, 75–93
5. Bojtár, I.–Bagi, K.: Numerical analysis of higher-order continua in the description of granular assemblies. In *Application of Numerical Methods to Geotechnical Problems*, Ed. A. Cividini. Springer (Procs. NUMGE98, 14–16 Oct 1998, Udine, Italy), 253–262.
6. Cambou, B.: From global to local variables in granular materials. In *Powders and Grains 93*. Ed. C. Thornton, Balkema, 1993, 73–86.
7. Cambou, B.–Dubujet, Ph.–Emeriault, P.–Sidoroff, F.: Homogenisation for granular materials. *Eur. J. Mech., A/Solids*, Vol. 14., 1995, No. 2., 255–276.
8. Cundall, P. A.–Strack, O. D. L.: A discrete numerical model for granular assemblies. *Geotechnique*, 1979, 29 (1), 47–65.
9. Cundall, P. A.–Drescher, A.–Strack, O. D. L.: Numerical experiments on granular assemblies. In *Proc. IUTAM Conference on Deformation and Failure of Granular Materials*, Delft, 1982, 355–370.
10. Cundall, P. A.: Computer simulations of dense sphere assemblies. In *Micromechanics of Granular Materials*, Ed. M. Satake and J. T. Jenkins. Elsevier, 1988, 113–123.
11. Gourves, R.–Oudjehane, F.–Zhou, S.: The in-situ characterisation of mechanical properties of granular media with the help of penetrometers. In *Powders and Grains 97*. Ed. R. Behringer & J. T. Jenkins, Balkema, 1997, 57–60.

12. Haff, P. K.–Jiang, Z.–Forrest, S. B.: Transport of granules by wind and water. *Mechanics of Materials*, 1993, Vol. 16. 1–2, 173–178.
13. Hertz, H.: Über die Berührung fester elastischer Körper. *Journal für die Reine und Angewandte Mathematik*, 1881, Bd. 92.
14. Hogue, C.–Newland, D. E.: Efficient computer modelling of the motion of arbitrary grains. In *Powders and Grains 93*. Ed. C. Thornton, Balkema, 1993, 413–419.
15. Lee, X.–Dass, W. C.: An experimental study of granular packing structure changes under load. In *Powders and Grains 93*, ed. C. Thornton. Balkema, 1993, 17–22.
16. Mindlin, R. D.–Deresiewicz, H.: Elastic Spheres in Contact Under Varying Oblique Forces. *Journal of Applied Mechanics*, Sept 1953, 327–344.
17. Oda, M.–Konishi, J.: Microscopic deformation mechanism of granular material in simple shear. *Soils and Foundations*, 1974, 14, 25–38.
18. Oda, M.: Micro-fabric and couple stress in shear bands of granular materials. In *Powders and Grains 93*. Ed. C. Thornton. Balkema, 1993, 161–166.
19. Satake, M.: Constitution of mechanics of granular materials through graph representation. In *Theo. Appéldául Mech.* University of Tokyo Press, 1976, Vol. 26, 257–266.
20. Satake, M.: Fundamental quantities in the graph approach to granular materials. In *Mechanics of Granular Materials: New models and constitutive relations*. Ed. J. T. Jenkins and M. Satake, Elsevier, 1983, 9–19.
21. Satake, M.: Discrete-mechanical formulation of granular materials. *Mechanics of Granular Materials* (as editor), *report of ISSMFE*, New Delhi, 1994, 1–6.
22. Thornton, C.: Force transmission in granular media. *KONA Powder and Particle*, 1997, 15, 81–90.

A vénás érrendszer biomechanikája

Az élő szervezet egészének, valamint alrendszereinek struktúrája és élettani funkciója közötti összefüggések megértéséhez egyedülállóan fontos hidat képez a biomechanika. A vérerek esetében eleve a fiziológiai funkciók nagy része biomechanikai jellegű és/vagy biomechanikai erők függvénye (7).

Az emberi szervezet teljes vérkészletének túlnyomó hányada, mintegy 60–80%-a, a viszonylag vékony falú, nagy disztenzibilitású, alacsony vérnyomású vénás érhálózatban található, ezen belül 25–50% a kis vénákban és a venulákban. E jellemző véreloszlás a disztenzibilitás sajátosságai mellett azzal is magyarázható, hogy a nagy vérkör mikrocirkulációs egységeiben átlagosan mintegy kétszer annyi venula található, mint arteriola, s az egyes venulák átmérője kb. 50%-kal nagyobb a megfelelő elágazási rendű arteriolákéénál. Az artériákéhoz képest nagyobb sugár/falvastagság arány, továbbá az alacsony transzmurális nyomástartományban (~0–50 Hgmm) mutatott jóval nagyobb inkrementális disztenzibilitás miatt a vénafalban fellépő tangenciális mechanikai feszültség és az elastikus modulus sokszorososa lehet a hasonló kaliberű artéria falában képződő feszültségnek, illetve a modulusnak (merevségnek) azonos – artériásnak megfelelő – nyomásszintek mellett. Érdekes viszont, hogy az artériába ültetett vénagraft esetében e nagy izobár feszültségkülönbség már 1–2 hét alatt jelentősen csökken a tartósan magas nyomásterhelés hatására, mivel ezalatt a falvastagság többszörösére növekszik, és az érfal szöveti struktúrája is átrendeződik. Feltehető, hogy az átültetett vénák falában bekövetkező biomechanikai változások, legalábbis részben, az extrém magas mechanikai feszültség normalizálására irányuló fiziológiás biomechanikai adaptációs mechanizmusok működésének következményei.

Az erek biomechanikai alkalmazkodásának folyamatai a vérnyomás és a véráramlás útján közvetített terhelésekhez különböző organizációs szinteken – szervrendszerek, szervek, szövetek, sejtek, szubcelluláris és molekuláris komponensek – a mai korszerű technikákkal és tudással már jól nyomon követhetők (7).

A vénák kvázistatikus nyomás versus térfogat jelleggörbéinek meredekségét, azaz tágulékonyágát (compliance) jelentősen meghatározzák az érfal passzív kötőszöveti (elasztin, kollagén, matrix anyagok) összetevőinek biomechanikai, hálózati és mennyiségi tulajdonságai, továbbá a simaizomzat aktív tónusa, valamint

az ér axiális nyújtásfoka, viszont elhanyagolható mértékű hatása van az egy sejtrétegű endotheliumnak. A kis venulák biomechanikai funkcióiban azonban valószínűleg már jelentős szerep jut az endothelium-sejteknek is, valamint a körülötük elhelyezkedő pericitáknak (7). A vénák axiális nyújtottságának foka mind a passzív, mind az aktív tangenciális feszültségmegnyúlás-viszonylatok tekintetében jelentős tényező (9).

A vénák egy tetemes része – a neurogén és más extrinzik jellegű aktív simaizom-tónus mellett – kifejezett intrinzik tónussal is rendelkezik, s ennek nagyságát az érfal különböző irányú, pillanatnyi és tartós nyújtottsági foka még jelentősen modulálhatja. Ezért az ér-simaizom kontrakciós állapotának ismerete nélkül nem lehet világos képet kialakítani a vénafal feszültségnyújtás-, illetve nyomás-térfogat jellegzőbéinek fiziológiai jelentéséről sem *in vitro*, sem *in vivo*.

A vénák aktív kapacitásváltozásai a simaizomzat kontrakciós-relaxációs aktivitása révén egyike azon fontos mechanizmusoknak, amelyek szabályozzák a vénás visszaáramlást a szív felé. Ez utóbbi élettani szerepe a szervezet alkalmazkodási folyamatai kapcsán – különösen fizikai munkában és az *ortosztatikus tolerancia biztosításában a gravitációs erővel szemben* – rendkívül nagy.

A szárazföldi állatvilág alkalmazkodási képességének talán legnagyobb erőpróbája lehetett az evolúció folyamán az ősök elszakadása a tengervíztől, amelyben a mikrogravitációs viszonyai között „kényelmesen” éltek. A hatalmas (körülbelül 10^6 -szor nagyobb) teresztriális gravitációs erőhöz történő adaptáció azonban sok évmillió „kísérletezéssel” történhetett, amelynek során sajátos alkalmazkodási mechanizmusok fejlődtek ki (16). Különösen összetett „kihívást” jelentett a szervezet számára a vérkeringési rendszer funkcióinak hatékony biztosítása a megváltozott körülményekhez. A fejlődés csúcsán azonban az ember már azt is elérte, hogy az ortosztatikus testhelyzet természetes számára, s a vízszintes pozícióból történő felállás révén a hosszanti nagyerekben létrehozott tetemes folyadékoszlopok gravitációs „tehetetlenségét” is képes szervezete gyorsan, célszerűen kompenzálni különböző hierarchikusan és heterarchikusan szerveződött szabályozási mechanizmusokkal.

Az evolúciós időléptékkel kialakult alkalmazkodási folyamatokhoz képest azonban a modern életviszonyok igen rövid időtávon belül teszik ki az emberi szervezetet nagyfokú gyors, pillanatszerű és/vagy tartós gravitációs jellegű terhelésváltásoknak, különösképpen a műszaki-technikai haladás elképesztő mértékű felgyorsulásának következményeképpen. Gondoljunk az űrutazásokra, melyek során az asztronauta alig pár hónapos, legfeljebb éves edzés után kerül hosszú időre a világűrbeli mikrogravitációs viszonyai közé. A példák között azonban még számos egyéb és gyakoribb is említhető, így a tartós kényszertesthelyzeteket megkövetelő üzemi munkakörülmények (merev, álló pozitúrában a lábvenák vérnyomása akár tízszeresére is nőhet a vízszintes testhelyzetéhez képest!), uta-

zás a sebesen gyorsuló földi, vízi és légi járműveken stb. E terhelésváltozások igen gyakran okoznak súlyos panaszokkal járó tüneteket, mint amilyen az ortosztatikus intolerancia (szédülés, ájulás), ortosztatikus ödéma, mozgásbetegség stb. Ismert, hogy alig 8-10 napos úrutazás után a nagy alapossággal trenírozott úrutasoknak több mint fele nem tud egyszerű ortosztatikus próbákat teljesíteni, mert szervezetük, különösen szív-érrendszerük, sokat veszít gravitációs alkalmazkodóképességéből (2). Figyelemre méltó, hogy hasonló nehézségek vetődnek fel tartós ágynyugalomra kényszerült betegeknel is. E problémák készítették bennünket az utóbbi évtizedben, hogy indítsunk intézetünkben több olyan tudományos kutatási projektet, amelyek a vénás rendszer hosszú távú alkalmazkodási mechanizmusainak megismerésére irányulnak.

Speciális, cső alakú, tetszés szerinti dőlésszögbe beállítható, átlátszó műanyag ketreceket fejlesztettünk ki olyan tudományos kísérletek céljaira, amelyekben a krónikus, ortosztatikus jellegű (45° fej-fel) gravitációs terhelésnek a végtagi vénák és artériák biomechanikai funkcióira gyakorolt hatását tanulmányozhatjuk (8). A kísérleti patkány e tilt-ketrecren hetekig-hónapokig eltartható, csupán 1/2-1 órányi időt kell naponta biztosítani úgynevezett „grooming”-ra. Szabadon mozoghat az állat fel és alá a ketrec hossza mentén és testének hossz tengelye körül, de visszafordulni nem tud; *ad libitum* fogyaszthat táplálékot és vizet a ketrec felső végén; e szituációt rövid idő alatt megszokja, s menekülési reakciók nélkül, stresszmentesen él. A tilt-helyzet hatására a sapheno-femorális vénás vérnyomás azonnal megduplázódik, míg az artériás középnyomás átlagértéke nem változik jelentősen.

A hosszú távú szív-érrendszeri adaptációs folyamatok integratív élettani értékeléséhez elengedhetetlen az állatok lokomotoros aktivitásának egyidejű regisztrálása és elemzése mind ortosztatikus jellegű, mind pedig vízszintes kontroll testhelyzetekben. E szomatomotoros magatartás éjjel-nappal történő folyamatos regisztrálása, illetve analízise céljából egy infravörös fénnel működő videokomputeres mozgáskövető módszert fejlesztettünk ki és adaptáltunk a Budapesti Műszaki Egyetemen dolgozó kollégáinkkal együttműködve (12, 13). Eredményeink szerint mind a kontroll, mind pedig a fej-fel tilt-helyzetben élő patkányok jellegzetes cirkadiális lokomotoros ritmust mutatnak, fokozott éjszakai aktivitással; utóbbi csoportban azonban az éjszakai mozgásmennyiség kisebb. A kísérleti állatok idejüknek túlnyomó részét a táplálék és víz közelében töltik.

Két hétig fenntartott kísérletes ortosztatikus testhelyzet után a vena saphenában (VS) szignifikáns biomechanikai és elektrofiziológiai elváltozásokat találtunk a parallel kontrollokhoz viszonyítva. Mégpedig megnövekedett az ér akut nyomásnövekedéssel indukált miogén válasza, valamint lumenének passzív kapacitása, ugyanekkor a falvastagsága nem változott mérhetően. A simaizomsejt-membránpotenciál szimpatikus idegi komponense a VS-ban augmentálódott, az arteria saphenában (AS), valamint a vena és arteria brachialisban (VB,

AB) azonban változatlan maradt (6, 7, 8). A humán VS oldalágai lényegesen nagyobb miogén választ produkáltak akut nyomásemelés hatására, mint a kutya vagy a patkány hátsó végtagi vénái (1). E reakció egyáltalán nem váltható ki emberi VB-ban. A miogén válaszhoz kapcsolt membránpolarizáció ellenregulálására kalcium- és feszültségfüggő ioncsatornák működnek az emberi VS-ban, de sem a VB-ban, sem pedig a patkány-VS-ban ezek nem mutathatók ki (17).

Az idegterminálok adventiciális denzitásának (IAD), valamint ezek mikrovezikulum-sűrűségének (MVS) kvantitatív elemzése és összehasonlítása révén azt találtuk, hogy a tilt-helyzetben tartott patkányok VS-jában a MVS sokkal nagyobb mértékben növekedett, mint az AS-ban, míg az IAD növekedése az AS-ban lett nagyobb mérvű (10, 15). Az AB-ban nem következett be innerváció-denzitás-változás (14). A vénák mikrovezikulumai noradrenalin tartalmaztak, az artériákéban NO-t és neuropeptid-Y-t is találtunk. Egy másik vizsgálat sorozatban bizonyítottuk, hogy a noradrenalin szignifikánsan potenciózza a venulák miogén választ (3).

A krónikus ortosztatikus terhelés befolyásolta a patkány hátsó végtagi izomzatában a mikroérsűrűséget: az oxidatív típusú izmokban a mikroerek szignifikáns megritkulását találtuk (4). Változások következtek be a mikroerek egyéb hálózati tulajdonságaiban is: csökkentek a hátsó végtagban a felületi vénák elágazódási szögei kéthetes tilt-helyzet hatására (5).

A fenti eredmények mellett szólnak, hogy tartós ortosztatikus jellegű gravitációs terhelés a végtagerek adaptív, regionálisan differenciált funkcionális és strukturális „remodeling”-jét eredményezi, amely magában foglal mind passzív és aktív (miogén) biomechanikai, valamint neurális mechanizmusokat, mind pedig mikroérhálózati sajátosságokat. E változások kihathatnak a kardiovaszkuláris rendszer egészének fiziológiai szabályozására. Mindezek alapján feltételezhető, hogy a jól ismert vaszkuláris baroreceptor-szabályozás mellett vesztibuláris mechanizmusok is szerepet játszanak a gravitációhoz történő akut és krónikus kardiovaszkuláris adaptáció folyamataiban (16), melyek kutatása egyike a közvetlen tudományos feladatainknak.

*

A kutatási támogatás forrásai: OTKA 017789/1995; OTKA 030245/1999; OTKA C-194; ETT 449/96.

Irodalom

1. Bérczi, V., Greene, A. S., Dörnyei, G., Csengődy, J., Hódy, G., Kádár, A., Monos, E.: Venous myogenic tone: studies in human and canine vessels. *Am. J. Physiol.*, 1992, 263, H315–320.

2. Buckey, J. D. Jr., Lan, L. D., Levine, B. D.: Orthostatic intolerance after spaceflight. *J. Appl. Physiol.*, 1996, 81, 7–18.
3. Dörnyei, G., Monos, E., Kaley, G., Koller, Á.: Myogenic responses of isolated rat skeletal muscle venules; its characteristics and modulation by norepinephrine and endothelium. *Am. J. Physiol.*, 1996, 271, H267–272.
4. Hudlicka, O., Dörnyei, G., Monos, E.: The effect of long-term tilting on capillary supply in rat hindlimb muscles. *Acta Physiol. Hung.*, 1995, 83, 205–212.
5. Lóránt M., Nádasz G., Monos E.: Kéthetes gravitációs vénás hipertenzió által okozott geometriai változások patkány vena saphena ágrendszerében. *VXIII. MÉT Vándorgyűlés, Debrecen, 1998.*
6. Monos, E.: How does vein wall respond to pressure? *News in Physiol. Sci.*, 1993, 8, 124–128.
7. Monos, E., Bérczi, V., Nádasz, G.: Local control of veins: biomechanical, metabolic, and humoral aspects. *Physiol. Rev.*, 1995, 75, 611–666.
8. Monos, E., Contney, S., Cowley, A. W. Jr., Kauser, K., Stekiel, W. J.: Venous smooth muscle response to long-term gravitational increase in transmural pressure. *Am. J. Physiol.*, 1989, 256, H1185–1191.
9. Monos, E., Contney, S. J., Dörnyei, G., Cowley, A. W. Jr., Stekiel, W. J.: Hyperpolarization of in situ rat saphenous vein in response to axial stretch. *Am. J. Physiol.*, 1993, 265, H857–861.
10. Monos, E., Fehér, E.: Long-term gravitational load via head-up tilting induces increase of innervation density in rat saphenous vessels. *FASEB J.*, 1996, 3, A7.
11. Monos E., Gyöngy L., Lóránt M., Jobbágy Á.: Fej-fel és fej-le tilt-pozícióban élő kísérleti patkányok cirkadián lokomotoros magatartásának kvantitatív elemzése. *LXIII. MÉT Vándorgyűlés, Debrecen, 1998.*
12. Monos, E., Gyöngy, L., Jobbágy, Á.: A novel method for motion analysis of animals exposed to gravitational load. *J. Physiol. Lond.*, 1996, 491, 75P.
13. Monos, E., Gyöngy, L., Jobbágy, Á.: Long-term motion analysis of rats kept in tilt position. *Pathophysiol.*, 1998, 5 (Suppl. 1), 230.
14. Monos, E., Lóránt, M., Fehér, E.: Mechanisms of vascular adaptation to long-term orthostatic gravitational loading. *J. Gravit. Physiol.*, 1998, 4 (2), 39–40.
16. Monos, E., Lóránt M.: A cardiovascularis rendszer vestibularis kontrollja. *Orv. Hetilap*, 1998, 31, 1851–1855.
17. Szentiványi, M., Bérczi, V., Hüttl, T., Reneman, R. S., Monos, E.: Venous myogenic tone and its regulation through K^+ channels depends on chronic intravascular pressure. *Circ. Res.*, 1997, 81, 988–995.

Az emberi test csontos vázszerkezetének biomechanikája

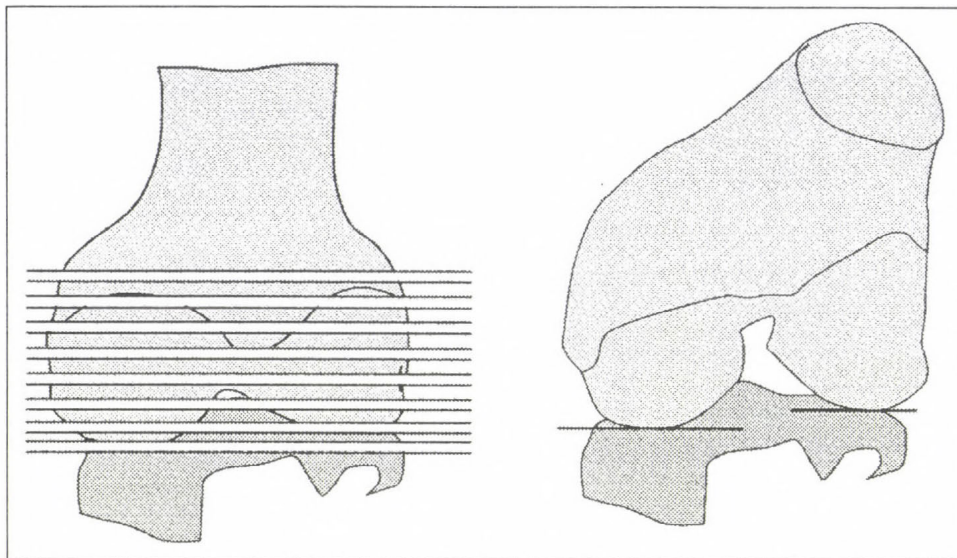
Az emberi test merev vázát alkotó csontok alakzata és szerkezete annak teherviselő és teherátadó funkciójának megfelelően alakult (Culmann, 1866), szerkezeti váza pedig az erőhatások irányának és nagyságának felel meg (Meyer, 1867). A vázszerkezet és az egyes elemek mechanikai paraméterének összessége funkcionális egységet képez (Wolff, 1870). Ez a megállapítás érvényes statikus és dinamikus körülmények közt egyaránt. Az erő, illetve a biológiai hatások változása a csontok alaki és szerkezeti átalakulásához vezetnek (Wolff, 1892), egyúttal teljesítményét befolyásolják.

A merev váz részben az életfontosságú szervek védelmét szolgálja, részben az azt megszakító csuklók segítségével a helyzet- és helyváltoztató mozgást teszi lehetővé. A mozgáshoz szükséges erőket az izmok kontrakciója szolgáltatja, melyet az idegrendszer bonyolult rendszere irányít, amely a feed back mechanizmus útján állandó egyensúlyi helyzetet hoz létre az aktuális alátámasztásnak és a munkavégzésből eredő vektorális erőhatásnak kompenzálására.

Az élő emberi test és a mechanika összefüggését saját vizsgálati anyagunkból az alábbi szemléltető példákkal demonstráljuk.

Statika

Az 1960-as években végeztünk (Budapesti Műszaki Egyetem Mechanikai Tanszék, Dr. Thamm Frigyes docens) Brinell f. indentációs próbával kadaverből nyert combfejen a csontot borító hyalinporc mechanikai paramétereinek megállapítására vizsgálatokat, melyeket a világirodalomban elsőként közöltem (Krakovits, 1969 a és b). Ugyanakkor megállapítottuk, hogy a porc a terhelésnek kitett helyen rugalmasságát veszíti, és felkeményedik. Feltételeztük, hogy az úgynevezett subchondralis (porc alatti) területeken a csontszerkezet a Wolff F.-törvény értelmében átrendeződik, és ezt mind röntgenfelvételek segítségével, mind a combfej terhelési irányára merőlegesen metszett csontszeletek törési mutatójának megállapításával bizonyítottuk (Krakovits, 1972a). Az eredmények jelentősége az 1970-es években mutatkozott meg, amikor a csípőízületi protézisek nagy számban kerültek beülte-



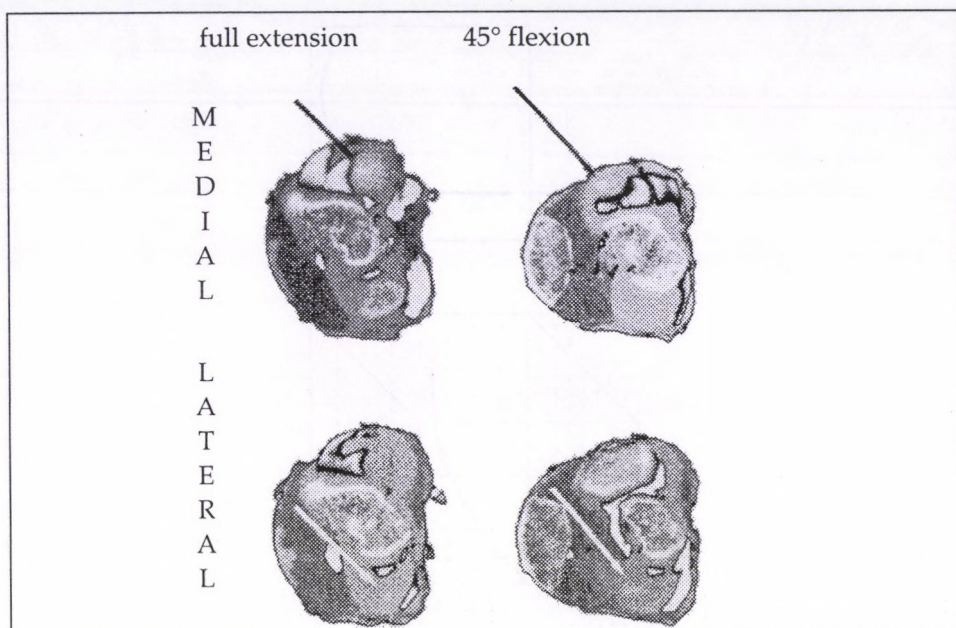
1. ábra. A térd egyes hajlítási fázisaiban felvett horizontális metszetek sematikus rajza

tésre, és gyakorivá váltak a mechanikai okokra visszavezethető lazulások, amelyek a betegekre nézve katasztrofális következményt jelentettek.

Ez a mechanikai lazulás függetlenül attól, hogy cementágyban történt-e a rögzítés (kétkomponensű műanyag polimerizációjával), idővel bekövetkezik. A nehezen eltávolítható ragasztó elkerülésére úgynevezett cement nélküli csípőprotézisek kerültek kialakításra (Krakovits, 1992). Ezek a csontüreg formációjának jobban megfeleltek, az addigi görbe, banán alakú szár helyett egyenes formát nyertek. Ugyanakkor a tengelyirányú és rotációs elmozdulás megakadályozására a csontbeépülést elősegítő porózus (fém- vagy szerves anyagú) felületet kaptak. Későbbiekben kiderült, hogy a kialakított protézisszárok sem bizonyultak tartósnak.

Ezért célul tűztük ki, hogy statikus és dinamikus kísérleti körülmények között vizsgáljuk a csontos váz egyes elemeinek viselkedését a külső erőbehatásokra, valamint a különböző formájú endoprotézisek terhelésének hatására. Különös tekintettel voltunk a protézisek alakjára, nagyságára, a befogadó csont és az implantátum kongruenciájára, a rögzítő anyagok mechanikai hatására stb. A vizsgálatok mechanikai erőgépekkel, elektromos nyúlásmérők és fotoelasztikus vizsgálókészülékek segítségével történtek (Borbás et al., 1996a).

Elméleti számítások útján egy henger alakú szárral rendelkező protézist terveztünk, melynek felső része a combcsont bejáratának megfelelően kehelyalakban készült, jobb és bal oldali kivitelben és az emberi combcsont metrikus adatainak birtokában különböző méretekben (Sass–Krakovits, 1993). A szár hosszát

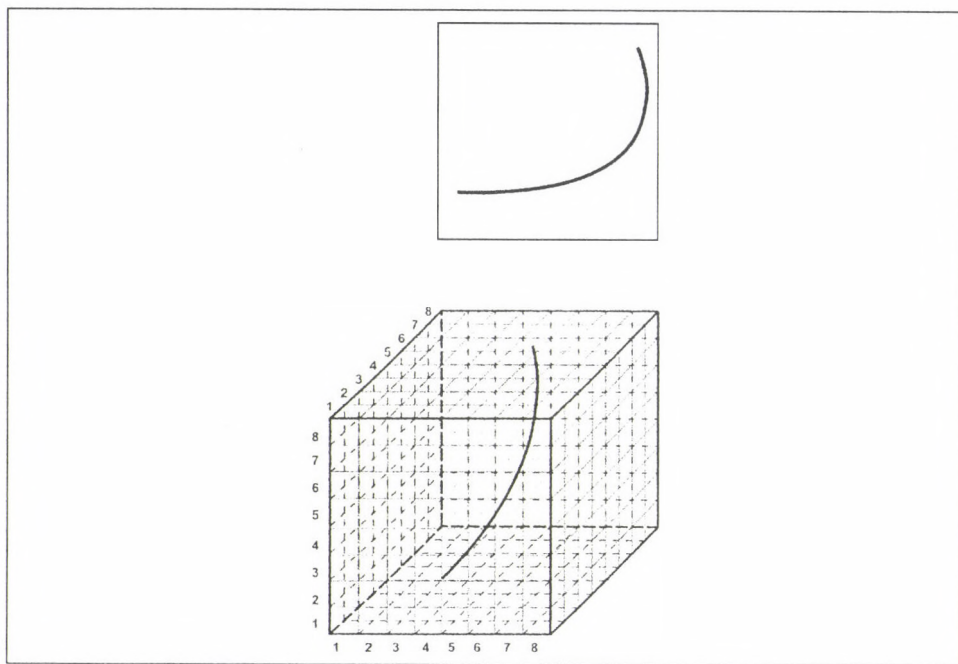


2. ábra. Harántirányú szűrt képek két (a és b) hajlásszögben felvett érintkező belső és külső felszínről

úgy méreteztük, hogy az oldalsó síkban a fiziológiás második görbületet ne érje el, így ne feszüljön a csont oldalfalának (Krakovits–Sass, 1993a). A felső görbület korrekciójára műtéti eljárást dolgoztunk ki, nevezetesen a görbület belső falát vésővel eltávolítjuk, míg az ellenkező oldali görbületből adódó üreget a protézis-szár ívelt megvastagításával pótoltuk (Krakovits–Sass 1993b). Ezzel elértük, hogy a fém protézisszár a csontüreg belső felületének legalább 80%-ával érintkezik, így a teherátadás relatíve egyenletesen oszlik meg a teherbíró felületen.

Statikus és dinamikus feszültségvizsgálataink az általunk tervezett protézis úgynevezett primer stabilitását és terhelésre egyenletes feszültségeloszlást mutattak (Borbás et al., 1996b). Ez feltételezi a protézisszár évekig tartó megbízható működését (Krakovits, 1994).

A Szent János Kórház Orthopaed-Traumatológiai Osztályán az 1992–1998-as időszakban 807 csípőízületi protézis beültetését végeztünk az általunk tervezett szárral, 278 esetben cement alkalmazása nélkül. Az általunk tervezett szarat nem vontuk be porózus réteggel a biológiai kapcsolat elősegítésére, ennek ellenére a több éves tapasztalatok a protézis eredményességét és tartósságát bizonyították (Krakovits–Sass, 1995). Ezt a jelenséget bizonyítéknak tekintjük a protézis geometriájának meghatározó szerepére.

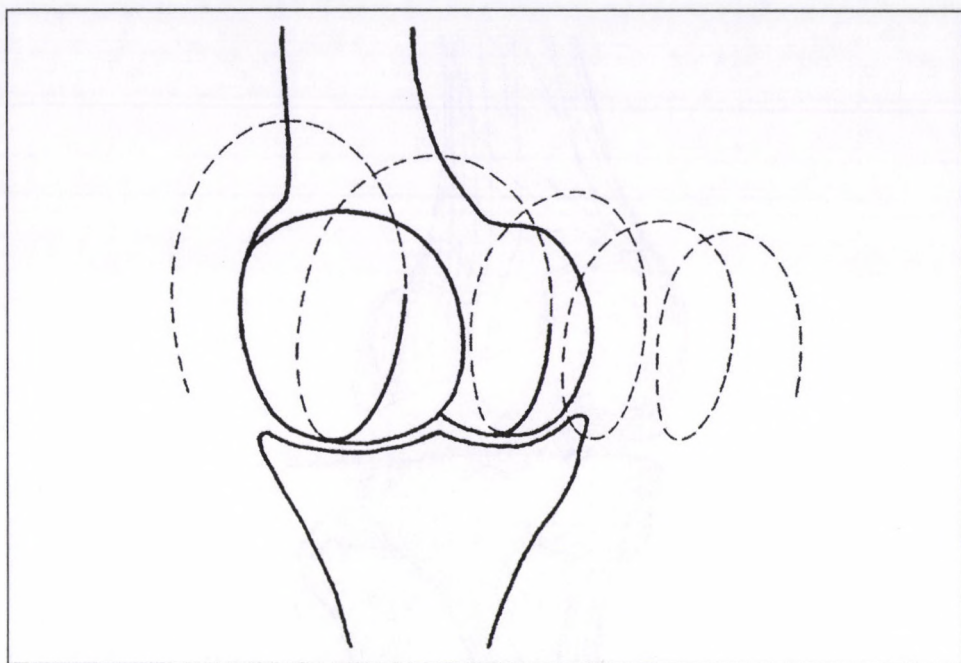


3. ábra. Az érintkezési pontok összességéből adódó, a tér mindhárom irányában hajló mozgáspálya görbéje

Dinamika

Az emberi térdízület a combcsont és a lábszárcsont ízesüléséből áll. A combcsont két gumója a lábszár tányér alakú felszínével ízesül, és lényegében csak az oldalsó síkban mozdul el, tehát kinyújtott helyzetből képes hajlításra. Oldalirányba nem mozdul el, mert a kettős alátámasztás statikusan, valamint a kötélrendszernek megfelelő oldalsó szalagrendszer passzíve tartja. A túlnyújtást az ízületet áthidaló szalagrendszer (két oldalsó és a térd közepén keresztalakban áthidaló szalagok), valamint a hátsó izomzat ístrángszerű visszatartó ereje biztosítja. A gumók hozzávetően eliptoid alakúak, és különböző magasságban helyezkednek el, valamint oldalsó síkban a külső gumó hátrább. Ez a geometria biztosítja álláskor és járáskor a stabilitást és a lábszárcsont hajlításakor történő csavarodását, mely a guggoláskor idéződik elő.

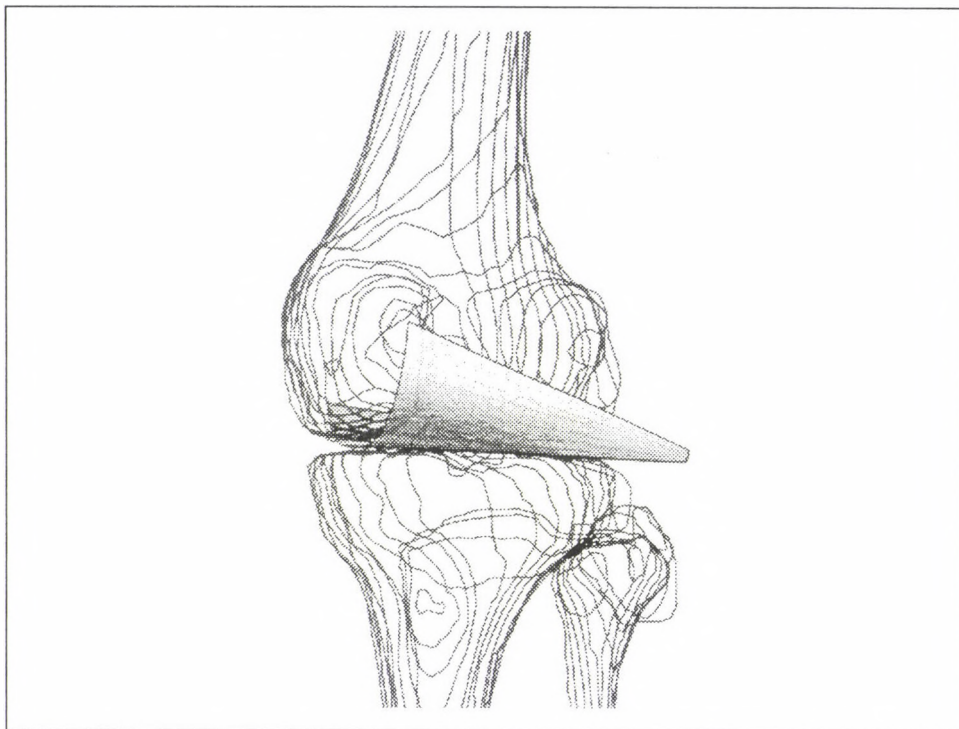
A térd bonyolult mozgásának leírása, illetve számítógépes elemzése (Blanckevoort–Huiskes) a múltban csak a mozgások közvetett mérésén alapult (Huiskes et al., 1985). A térdízületfelszín geometriájának pontos meghatározására és a mozgáspálya közvetlen mérésére új kísérleti módszert dolgoztunk ki.



4. ábra. A vezérgörbék egy kúpspirális szegmensét alkotják

Kadaverból kivett 5 térdízületet és 5 emberi térdet vizsgáltunk komputer-tomográf segítségével. A specimeneket fakeretes rögzítőszerkezetbe fogtuk, melynek segítségével a térdet a mozgáspálya egyes fokozataiban rögzítettük. A felvételek Siemens-készülék segítségével történtek (Siemens Somatom HiQ operációs rendszer, Somaris VD 2. ö szoftver, V 5,3 Platformon), majd a mágnesszalag mentésével a digitalizált képeket Silicon Graphics Iris Indigo, Hewlett Packard 9000/710 Workstation számítógépre vittük. SDRC (Milford Ohio) IDEAS CAD-CAM-CAE, illetve Strassle Euklid szoftver segítségével mozgásanalíziseket végeztünk. Az érintkező felszínek határterületének meghatározására az Euklides ltd. (Budapest) úgynevezett heurisztikus filtert hozott létre, amely az emberi szövetek egyes elemei fényintenzitásának meghatározásán alapszik. A CT-képek egyenként 512 Kbyte nagyságrendűek, megfelelnek egy 512×512-es pixelnek (4096 szűrkeségi fokozat).

A metszeteken (1. ábra), melyek harántirányú rekonsrukcióval készültek, meghatároztuk az érintkező porcterületeket (2. ábra) és azok helyét a térben. A különböző hajlítási szögben felvett érintkezési pontokat összekötő görbe adja a térd mozgáspályáját. Ez a tér mindhárom irányában hajló görbe (3. ábra) magyarázza a térd bonyolult mozgását.

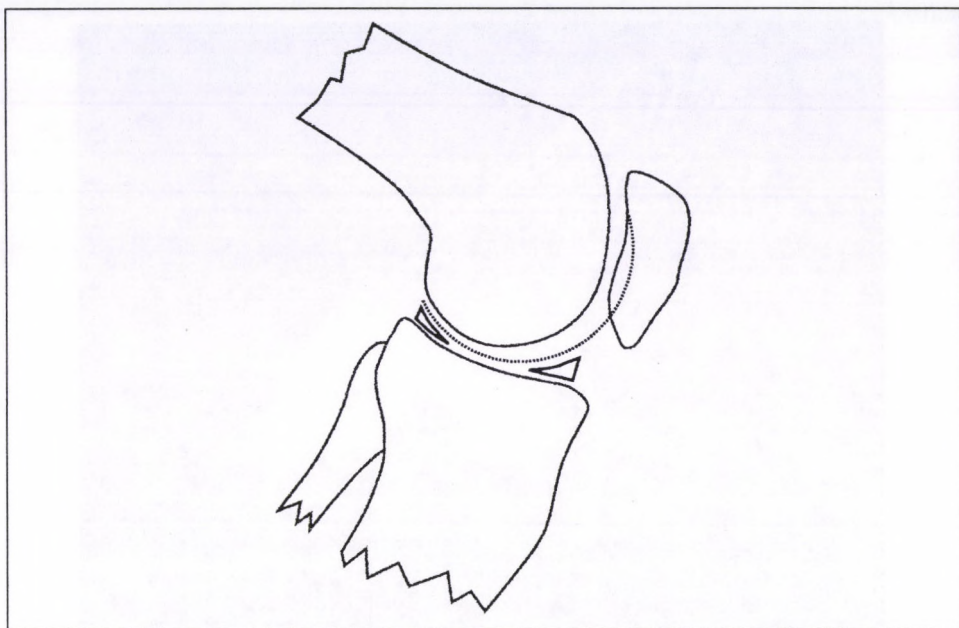


5. ábra. A combcsontra hajlított lemez egy kúpszegmenst képez, melynek gördülése során a térd mozgásának megfelelő rotációval kombinált mozgás alakul ki

Megfigyeltük, hogy a vezérgörbék egy adott kúpspirális egy-egy szegmensének felelnek meg (4. ábra), eltérően a mai napig érvényesnek tekintett Fick-féle (1911) leírástól. Fick csak egy oldalnézeti síkban végzett számításokat, és ezért találta eliptoidnak a vezérgörbéket. Vizsgálataink a tér három irányában történtek, ebből látható volt, hogy a görbék egy kúpspirál adott szegmensei, melyet matematikailag is megfogalmaztunk. Ha a combcsont térdízületi végére egy lemezt hajtunk, kúpszeletet nyerünk, melynek geometriáját a combcsonti gumókon áthaladó mozgáspályáknak vezérvonalai határozzák meg (5. ábra).

A kúpszelet a mechanika törvényei szerint gördülése közben egyúttal forgómozgást végez (Budó, 1951), így magyarázatot nyerünk arra, hogy a térdízület a haránttengely körül miért végez egyúttal forgómozgást (6. ábra).

Vizsgálataink kimutatták, hogy a lábszárcsont belső térdízületi felszínén a porc domborulatot képez, melyet a rostos porcgyűrű perselyszerűen vesz körül. Nyomóerő hatására a domborulat összepréselődik, melyet lehetővé tesz a porc rugalmas volta, valamint a porc alatti kemény csonttár konvexitása.

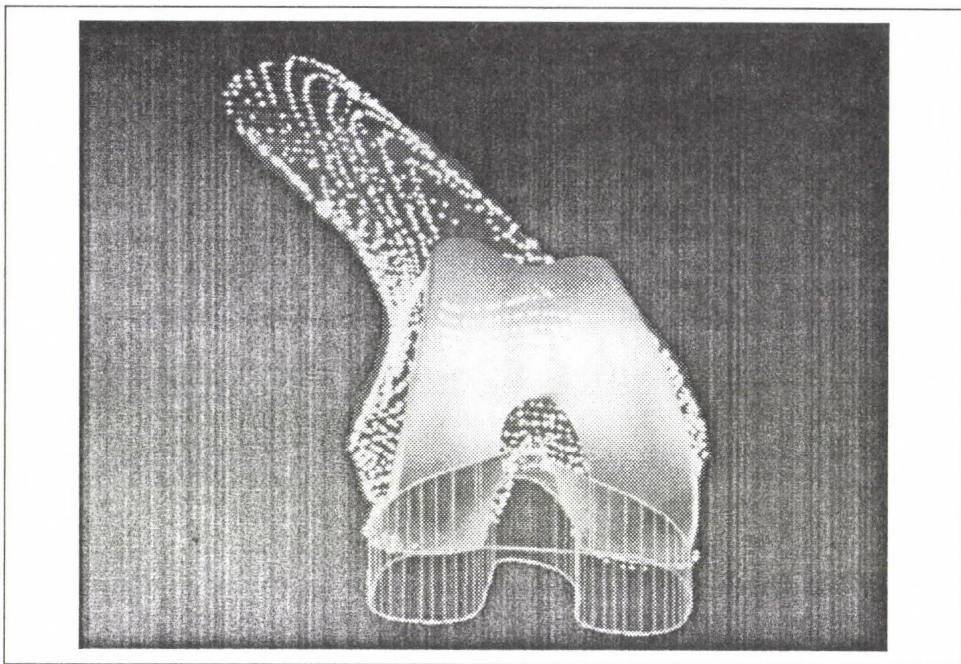


6. ábra. Az emberi térdízület egy golyós csapágyhoz hasonlítható. A combcsont gumói adják e csapágygolyót, míg a perselyt a térdkaláccsal kombinált ellenoldali ízületi felszín terhelésre konvex porcfelülete a rostos szerkezetű gyűrűporcokkal egyetemben

A felszín az ék alakú porcos gyűrűvel egy perselyt képez, amely befogadja a combcsonti porcos felszínt. A két felszín kúpalakzata (polhodia és hyperpolhodia) egymáson elfordulása (Buzás, 1966) közben a gördülő felületek belépő éle kismértékben összenyomódik, kilépő éle pedig húzásnak van kitéve. A gördülés folyamán újabb és újabb, addig még nem deformált felületszegmensek kerülnek érintkezésbe, így a rugalmas deformáció folyamatossá válik.

Ezen elemi deformációk összegeződésének eredményeképp a condyluspár „tömegközéppontjának” sebessége v/t ; és a szögsebességéből (c/t) származó sebessége nem lesz azonos, ezért csúszás jön létre, melyet maga a rugalmas deformáció (creep) is elősegít. A condylusok csúszási sebességét a tényleges gördülések sebessége és a condylusok kerületi sebességeinek különbsége adja. A külső és belső mozgáspálya különbsége a kerületek mértani különbségéből adódik. Komputerszimulációs vizsgálataink bizonyították a számítás helyességét.

A lábszárcsont alkotta belső felszínének mozgáspályája íveltebb, mint a külsőé, és a porcvastagsága is nagyobb. Álló helyzetben a súlyvonal az ízületől a középvonal felé excentrikusan esik, így a terhelés hatására a porc rugalmas deformációja a belső felszínen alakul ki, ezért a térd hajlításakor, illetve nyújtásakor a belső



7. ábra. A szabadalmaztatott térdprotézis előlnézeti ábrája

mozgáspályának van vezető szerepe. A külső felszín laposabb, ezért nagyobb csúszást enged meg, mintegy a kúp tengelyének torziós mozgását, melyre a test alátámasztásához a láb rotációs helyzetváltoztatásakor van szükség.

Az ízületet áthidaló szalagok (kötélszerkezet) és az izomzat biztosítja az ízület összetartását, illetve hogy az ízületi felszín geometriájának megfelelő mozgás jöjjön létre. Kapott adatok alapján úgynevezett anatómiai térdprotézist terveztünk (7. ábra), mely világszabadalmat nyert, és a prototípus előállítás és mechanikai bevizsgálása után a klinikai kísérletek is megkezdődtek. Ennek lényege, hogy a combcsonti elem kúpos méretezése után az ellenoldali felületet úgy alakítottuk ki, hogy az megfelelt a porc terhelt alakzatának, megnagyobbítva a rostos porc perselyével. Figyelembe vettük a térd mozgása során érintkező felületek geometriáját, és azokat matematikai számításokkal egységesítettük. Így egy semi constraint csuklós műízületet nyertünk, mely figyelembe veszi az emberi test mozgásait, súlypontváltozásait; azt a kinematikai láncot, melybe a térdízület beilleszkedik.

A térdre vonatkozó vizsgálatok, valamint a szabadalmaztatott térdprotézis tervezése Juharosi Zoltán és Bárdosi Tamásné gépészmérnökökkel közösen történt.

A fenti példákkal természetesen nem törekedtünk teljességre, mert ez túlmenne a mechanika és élettudományok kapcsolatának ismertetésén. Remélhetően ugyanakkor eléri célját, hogy felhívja a figyelmet az orvosi és műszaki tudomány határterületének jelentőségére (Krakovits, 1972b). Sürgősen pótolni kellene egy biomechanikai laboratórium felállítását, több célú mechanikai vizsgáló készülékekkel felszerelését, annál is inkább, mert hazánkban az orvosműszergyártás mellett eredményes protézisgyártás is folyik. Ez pedig nemcsak a fejlesztés szempontjából igényel tudományos háttérrel, hanem a minőségi kontrollt is biztosítaná. A fejlett világban már nincs – nem olyan ország, hanem – olyan orvosi egyetem, amelynek nincs önálló, illetve társegyetemmel közös biomechanikai osztálya.

Irodalom

1. Borbás, F., Thamm, F., Hagymási, M., Krakovits, G. (1996a): Investigation of different design of femur head prosthesis with respect to the force transition to the femoral shaft. XXV AIAS Int. conference on material engineering. Gallipoli-Lecce, 1996, 245–248.
2. Borbás, L., Hagymási, M., Krakovits, G., Thamm, F. (1996b): Felszíni réteges optikai feszültségvizsgálat femur-szárban csípő-protezis hatására fellépő igénybevétel tisztázására. *Anyagvizsgálók Lapja*, 1996, 3, 23–29.
3. Blankevoort, L., Huiskes, R. Validation of a three-dimensional model of the knee. *J. Biomechanics*, 1996, 29, 955–961.
4. Budó, Á.: *Mechanika*. Tankönyvkiadó, Budapest, 1951.
5. Buzás, L.: *Fejezetek a mechanizmusok elméletéből*. I–II. Tankönyvkiadó, Budapest, 1966.
6. Culmann, K.: *Die graphische Statik*. Univ. Verh. Bd. I., Zürich, 1986.
7. Fick, R.: *Anatomie und Mechanik der Gelenke*. Vol. III. Spezielle Gelenk und Muskelmechanik. V. von Gustav Fischer, Jena, 1911, 541–583.
8. Huiskes, R., Kremers, J., de Lange, A., Woltring, H. J., Selvik, G., van Rens, Th. J. G., Analyticalstereophotogrammetric determination of three-dimensional knee joint geometry. *J. Biomech*, 1985, 18, 559–570.
9. Krakovits, G. (1969a): Die Elastizität der Gelenksknorpel. *Anat Anz*, 1969, 124, 113–119.
10. Krakovits, G. (1969b): Bestimmung des Elastizitätsmoduls der Knorpelschicht auf Femurkochen mit Hilfe der Kugeldruckprobe. *Anat Anz.*, 1969, 124, 156–166.
11. Krakovits G. (1972a): *Adatok az arthrosis biomechanikájához, különös tekintettel a csípőízületre*. Kandidátusi értekezés. Budapest, 1972.
12. Krakovits G. (1972b): Az orvos-mérnöki intézmények jelentőségéről és hazai szervezésének lehetőségeiről. *Orvos és Technika*, 1972, 3, 1, 19–121.
13. Krakovits, G.: Cementless implantation of the stem of different types of standard hip endoprostheses. In G. Regling (ed.) *Wolff's Law and connective tissue regulation*. De Gruyter Publ. Berlin/New York, 1992, 261–269.
14. Krakovits, G. – Sass, L. (1993a): Biomechanical aspects of femoral stem anchoring during total hip replacement. *Acta Chir. Hung.* 1993, 3–4, 128–135.
15. Krakovits, G. – Sass, L. (1993b): Centralization of the femoral component in THR. Biomechanical consideration and method. *Hip International*, 1993, 3, 33–38.
16. Krakovits G.: *A csípőízületi prothesis combcsonti elemének biomechanikai vonatkozásai*. Doktori pályázat tézisek alapján. Budapest, 1994.
17. Krakovits, G., Sass, L.: Új típusú (KR) csípőprotézisszárral szerzett kísérleti és klinikai tapasztalatok. *Magyar Traumat.*, 1995, Vol. 38, 207–213.
18. Meyer, K.: *Die Architektur der Spongiosa*. Reichert und Du Bois-Reynolds, Stassburg, 1867, 615–629.

VI. osztály: Mechanika – elmélet és gyakorlati alkalmazások

19. Sass L. – Krakovits G.: Csípőprothesis combcsonti elemének tervezéséről. *Kórház és Orvostechnika*, 4, 1993, 124–126.
20. Wolff, J.: Über die innere Architektur der Knochen und ihre Belastung für die Frage des Knochen Wachstums. *Arch. Pathol. Anat. Physiol.*, 1870, 50, 34–27.
21. Wolff, J.: *Das Gesetz der Transformation der Knochen*. A. Hirschwald, Berlin, 1892.

SITKEI GYÖRGY

Mechanika a mezőgazdasági tudományokban

Bevezetés

A mezőgazdasági anyagok biológiai felépítése, a víz jelenléte, sok esetben anizotrop tulajdonságaik hosszú időn keresztül csak az empirikus leírást tették lehetővé. A 19. század 80-as éveiben Hertz és Boussinesq munkássága fontos alapokat szolgáltatott a mezőgazdasági anyagok viselkedésének tanulmányozásához. 1895-ben jelent meg Jannsen [1] silóelmélete, amely fényesen bizonyította, hogy a mechanika nem kontinuumra való alkalmazása sok esetben sikeres lehet, és az alapvető törvényszerűségek felderítésében meghatározó szerepe van. Korrekcióra természetesen általában szükség van, amelyet a kísérleti mérések alapján tudjuk beépíteni a kapott összefüggésekbe.

A különböző műveletek során a talaj, a termények és növényi eredetű alapanyagok a műveletet megvalósító elemekkel mechanikai kölcsönhatásban vannak. Ezek a kölcsönhatások igen sokfélék lehetnek, amelyek egyúttal a mechanika nagyon gyakori jelenlétére is utalnak. A legfontosabb műveleteket az alábbiakban soroljuk fel:

A talaj kölcsönhatása

- a talajművelő szerszámokkal,
- a járószerkezetekkel.

A termények és anyagok kölcsönhatása

- a vágás,
- aprítás,
- leválasztás,
- tömörítés,
- mozgatás,
- kezelés során.

Az anyagok mechanikai tulajdonságainak meghatározása:

- rugalmas, viszkoelasztikus, plasztikus,
- súrlódási,
- tömörítési,

– ismételt igénybevétel.

A másodlagos mechanikai tulajdonságok meghatározása:

- a talaj teherbíró képessége,
- a szerszámok fajlagos talajjellenállása,
- a vágási ellenállás,
- a törési munka,
- a sérülési igénybevétel,
- érési állapotra jellemző mechanikai mennyiségek.

A másodlagos mechanikai tulajdonságok általában adott deformációhoz kötődnek, ezért az ilyen adatok nem általánosan érvényesek. Például egy félig csavart ekekormánylemez más talajdeformációt hoz létre, mint egy hengeres kormánylemez, ezért az ekeellenállásuk sem azonos. A vágási ellenállás az élre ható erőből, az anyag deformációjára fordított komponensből és a súrlódóerőből tevődik össze. A komponensek bármelyikének változása hatással lehet a vágási ellenállásra.

1. Anyagtörvények

Az *anyagtörvény* ismerete minden mechanikai számításhoz feltétlenül szükséges. A rugalmasságtan az egyszerű lineáris Hook-törvényt használja ($\sigma = E \cdot \varepsilon$), amelyben az anyagot jellemző szám a rugalmassági modulus. Összetett feszültségi állapot esetén ehhez még a keresztirányú nyúlást kifejező Poisson-tényező járul.

A mezőgazdasági anyagok zöme porózus anyag, a pórusok egy részét víz tölti ki. A víz minden esetben hatással van a mechanikai tulajdonságokra. A szabad pórusok rovasára az anyag összenyomható, s a mechanikai tulajdonság az összenyomás hatására is változik. Ezért ezek az anyagok ritkán mutatnak lineáris összefüggést, és ha igen, akkor is csak kis terhelések mellett.

A Hook-törvény kiterjeszthető nemlineáris esetekre is:

$$\sigma = \int E(\varepsilon) d\varepsilon \qquad \text{vagy} \qquad \sigma = E_s(\varepsilon) \cdot \varepsilon,$$

ahol $E = d\sigma/d\varepsilon$ – a valódi rugalmassági modulus,

E_s – a szekáns modulus.

A nemlineáris kezelésre elsősorban a mezőgazdasági anyagok tömörítésekor van szükség, és az egyik feladat a rugalmassági modulus meghatározása a deformáció függvényében [2, 3].

A biológiai anyagok szinte kivétel nélkül viszkoelasztikus és plasztikus anyagok, vagyis a feszültség–deformáció összefüggés a terhelési sebességtől is függ, és a tehermentesítés után maradó deformációval kell számolni. Mint ismeretes, a lineáris viszkoelasztikus anyagok leírására vannak eljárások, amelyek többé-

kevésbé alkalmasak az anyag viselkedésének jellemzésére. A maradó deformáció leírása azonban már itt is problémát jelent. Egy sorba kapcsolt viszkózus elemmel figyelembe lehet ugyan venni a maradó deformációt, azonban a terhelési sebesség függvényében ez az elem állandóan változik. Állandó értékű súrlódásos elem alkalmazása pedig nincs összhangban azzal a megfigyeléssel, hogy a maradó deformáció erősen terhelésfüggő. A fenti problémák áthidalására a későbbiekben egy nemlineáris viszkoelaszto-plasztikus modellt mutatunk be [3].

A mezőgazdasági anyagok *terhelése* nagyon különböző lehet. Egyes esetekben hosszan tartó, állandó terheléssel kell számolni (a fellazított talaj ülepedése, ömlesztett anyagok ülepedése silókban). Gyakori az állandó sebességű terhelés, illetve deformáció, előfordul a szinuszosan változó deformáció is (forgattyús hajtóművel mozgatott tömörítő elem). Szintén gyakori ezen anyagok ütközése egymás között, illetve merev sík felületen. Végezetül az igénybevétel lehet egyszeri és lehet ismétlődő, állandó deformáció, illetve állandó erőhatás mellett. Ilyenkor az egymást követő ciklusokban az erő csúcértékének relaxációja, illetve a deformáció növekedése (kúszás) figyelhető meg [4, 5].

A *megoldás módszerei* a feladat jellegétől függően különbözők lehetnek. Az egyik leggyakoribb módszer a ténylegeshez hasonló rugalmas feladat megoldása és ennek korrekciója kísérleti eredmények segítségével [8, 9, 10]. A megoldás sok esetben javítható, ha például ciklikus terheléskor az erő vagy deformáció változását az egymást követő ciklusokban figyelembe vesszük [6, 7].

A lineáris viszkoelasztikus módszer bizonyos érintkezésifeszültség-problémákra és ütközési feladatokra alkalmazható. Példaként említhető a gördülő kerék besüllyedése a talajba a haladási sebesség függvényében [11]. Viszkoelasztikus feszültséganalízis általában csak numerikus módszerekkel lehetséges.

A nemlineáris viszkoelaszticitás a mechanika gyengén kidolgozott területei közé tartozik [14]. Amikor részletes feszültséganalízisre nincs szükség (például halmazok tömörítése), akkor sikerrel alkalmazható a viszkoelasztikus modellek kiterjesztése a nemlineáris esetekre oly módon, hogy a modell elemeit a deformáció függvényében fejezzük ki [3].

Komplikáltabb esetekben a félempirikus módszereket is gyakran használjuk. Az így kapott eredmények általánosíthatósága alapvetően attól függ, hogy mennyire sikerült elméleti megfontolások alapján a változókat helyesen megválasztani és függvénybe illeszteni [12].

2. Példák a megoldás módszereinek bemutatásához

2.1. A rugalmas feladat megoldása és kiterjesztése a nem rugalmas esetekre

Mezőgazdasági terményeinket (búza, kukorica) a betakarítás után általában szárítjuk, majd tároljuk. A műveletek során a terményt mozgatjuk, és ennek során ismételt igénybevételnek van kitéve. Kedvezőtlen körülmények között az igénybevétel jelentős szemtörést, illetve szemrepedést okoz. A szemtörés általános törvényszerűségeit az alábbi módon lehet meghatározni:

A szem törésekor új felület keletkezik, amelynek létrehozásához energiát kell befektetni. Az energiát a szemcsék egymással vagy merev felülettel való ütközése szolgáltatja, vagyis

$$\sum_{i=1}^{i_f} \int P(i) dz \equiv v_f \cdot d^2, \quad (1)$$

ahol P – a szemcsére ható erő,
 z – a deformáció,
 i – a ciklusok száma,
 v_f – a fajlagos törési energia,
 d – a szemcse egyenértékű átmérője.

A viszkoelasztikus anyag jellemző viselkedése a relaxáció, illetve kúszás, ezért állandó deformáció esetén a P erő az egyes ciklusokban folyamatosan csökken, vagy állandó erő esetén a deformáció növekszik:

$$P(i) = P_1 \cdot i^{-n}, \quad (2)$$

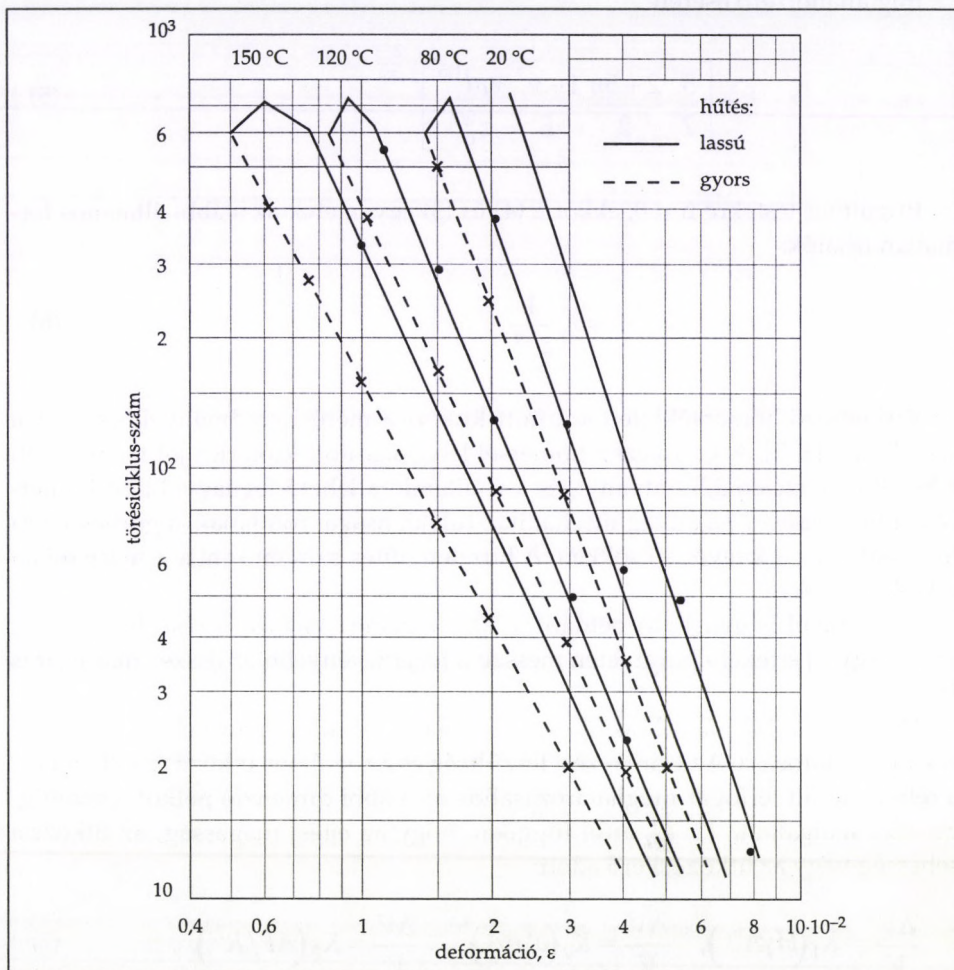
illetve

$$z(i) = z_1 \cdot i^n,$$

ahol az n kitevő gabonaszemekre 0,08–0,12 között változik.

Merev sík lapon való ütközéskor a Hertz-elmélet szerint

$$P \equiv \frac{\sqrt{d \cdot E}}{(1 - \nu_1^2)} \cdot z^{3/2}. \quad (3)$$



1. ábra. A törési ciklusszám változása a deformáció függvényében különböző hőmérsékleten szárított kukoricára, lassú és gyors hűtéskor

Ez utóbbi egyenlet felhasználásával az (1) egyenlet integrálásából az alábbi egyenletek nyerhetők. Állandó deformáció esetén a törés ciklus-szám

$$i_t = \left[\frac{5}{2} (1-n) \frac{1-v_1^2}{E} \frac{v_f d^{1,5}}{z^{5/2}} \right]^{1/(1-n)}, \quad (4)$$

míg állandó erő esetére

$$i_t = \left[\frac{5}{2} \cdot \frac{2+5n}{2} \frac{1-v^2}{E} \frac{v_f d^{1,5}}{z_1^{5/2}} \right]^{\frac{2}{2+5n}} \quad (5)$$

Rugalmas testekre $n = 0$, ekkor a (4) és (5) egyenletek az alábbi általános formában írhatók:

$$i_t = K \frac{1}{z^{5/2}} \quad (6)$$

Különböző hőmérsékleten szárított kukorica mérési eredményeit az 1. ábra szemlélteti [6, 7]. A környezeti hőmérsékleten szárított kukorica jól megközelíti felülről az elméleti 2,5 hatványt, és a K állandó a lehető legnagyobb. A hőmérséklet növelésekor az anyag mechanikai tulajdonságai romlanak, a görbék balra tolódnak el, s a kitevő is csökken. A hirtelen hűtés szintén rontja a mechanikai tulajdonságokat.

Az ábrából leolvasható például a 100 ciklushoz tartozó törési deformáció, amely egy új értékelő paraméter, messze a legérzékenyebb az összes más eljárás között.

Hasonló probléma volt az alma szedésekor és szállításakor keletkező sérülések meghatározása. Az érintkezési feszültség és a rugalmas ütközés mechanikája a relatív sérült térfogat meghatározásához az alábbi dimenzió nélküli összefüggéseket szolgáltatja [2, 4], attól függően, hogy az ejtési magasság, az ütközési sebesség vagy az ütközési erő adott:

$$\frac{\Delta V}{V} = K_1 (H \gamma A^{n_1}), \quad \frac{\Delta V}{V} = K_2 (v^2 \rho A)^{n_2}, \quad \frac{\Delta V}{V} = K_3 (AP/R^2)^{n_3}, \quad (7)$$

ahol H – az esési magasság,

v – az ütközés sebessége,

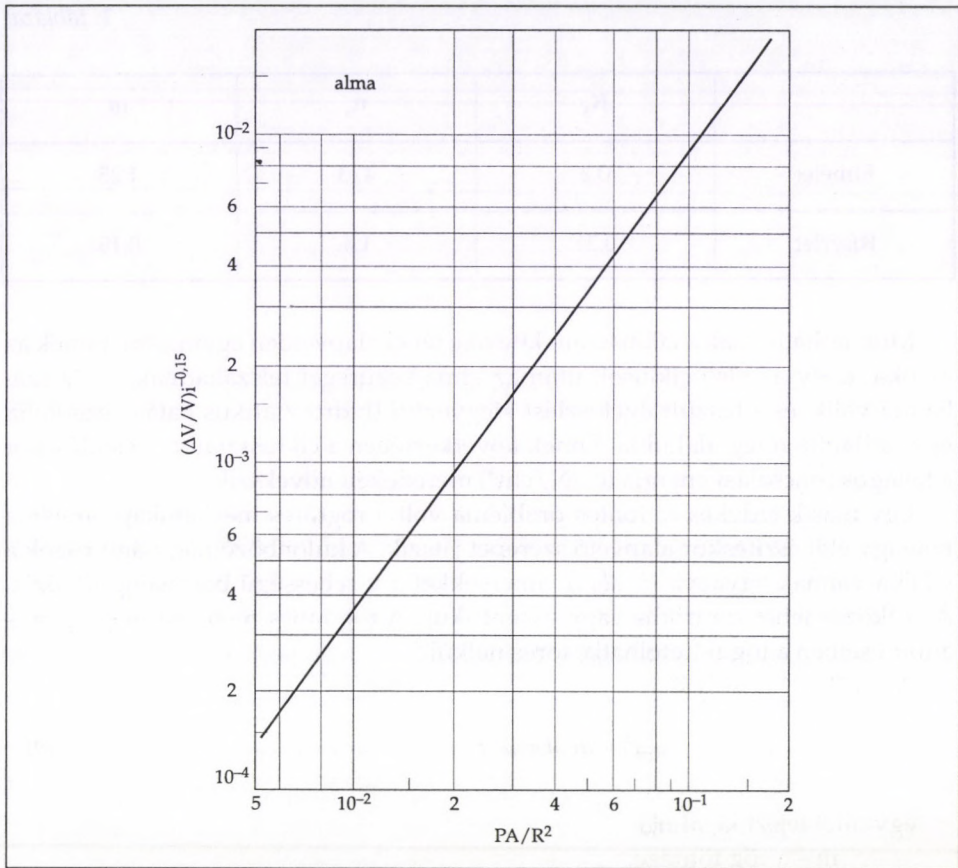
P – a terhelőerő,

γ, ρ – az alma térfogatsúlya, illetve sűrűsége,

R – az alma sugara,

továbbá

$$A = \frac{1-v_1^2}{E_1} + \frac{1-v_2^2}{E_2}.$$



2. ábra. A relatív sérült térfogat változása
a PA/R^2 dimenzió nélküli szám függvényében, ismételt igénybevétel esetén

E_1, E_2 – az érintkező anyagok rugalmassági modulusai,
 ν_1, ν_2 – a Poisson-tényezők.

Ismételt igénybevétel esetén a (7) egyenlet harmadik tagját az alábbi alakban használtuk:

$$\frac{\Delta V}{V} = K_3 \left(AP/R^2 \right)^{1/3} \cdot i^m, \quad (8)$$

amelyet kísérleti adatok alapján grafikusán a 2. ábra szemléltet [2, 4]. A (8) egyenletben szereplő állandó és kitevők elméleti és kísérletileg talált értékeit a következő táblázatban foglaltuk össze.

1. táblázat

	K_3	n_3	m
Elmélet	0,2	4/3	1,25
Kísérlet	0,22	1,4	0,15

Mint látható, csak a ciklusszám kitevője tér el alapvetően egymástól. Ennek az az oka, hogy az első ciklusok után az alma sejttöregei felszakadnak, a víz szabadbáddá válik, és a feszültségeloszlást kiegyenlíti (hidrosztatikus hatás), ezenfelül egy csillapító réteg alakul ki. Ennek következtében a ciklusszám növekedésekor a fajlagos roncsolási energia (cmN/cm^3) meredeken növekszik.

Egy másik érdekes és fontos probléma volt a rögtörés mechanikája, amely a magágy előkészítéskor alapvető szerepet játszik. A különböző nagyságú rögök a talajba vannak ágyazva (3. ábra), amelyekkel a v sebességű boronafog ütközik. Az ütközés lehet centrikus vagy excentrikus. A rög nincs mereven megfogva, s adott esetben a fog félretolhatja, törés nélkül.

Az erők egyensúlyát a

$$P = m \cdot a + p \cdot F \quad (9)$$

egyenlet fejezi ki, ahol

m – a rög tömege,

a – a rög gyorsulása,

p – a közepes nyomás a rög felületén vízszintes irányban.

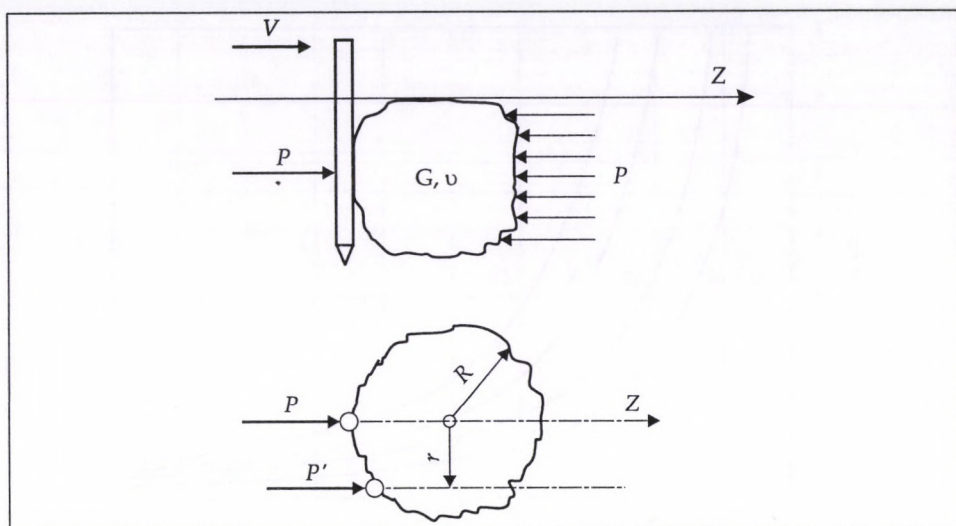
A rögre ható vízszintes nyomás a Boussinesq-probléma megoldásához hasonlóan

$$p = k \frac{z}{d},$$

ahol z – a rög elmozdulása vízszintes irányba,

d – a rög közepes átmérője,

k – a fajlagos talajellenállás, értéke frissen szántott talajban 1-2 bar.



3. ábra. A talajba ágyazott rögre ható erők

A rög gyorsítása maximálisan a szerszám v sebességére, vagy törés esetén v_{kr} sebességre történhet, ezért $\Delta v = v_{kr}$. Ezzel a (9) egyenlet így is írható:

$$P = m \frac{v_{kr}}{\Delta t} + k \frac{\pi d z}{4}, \quad (9a)$$

ahol Δt az ütközés ideje.

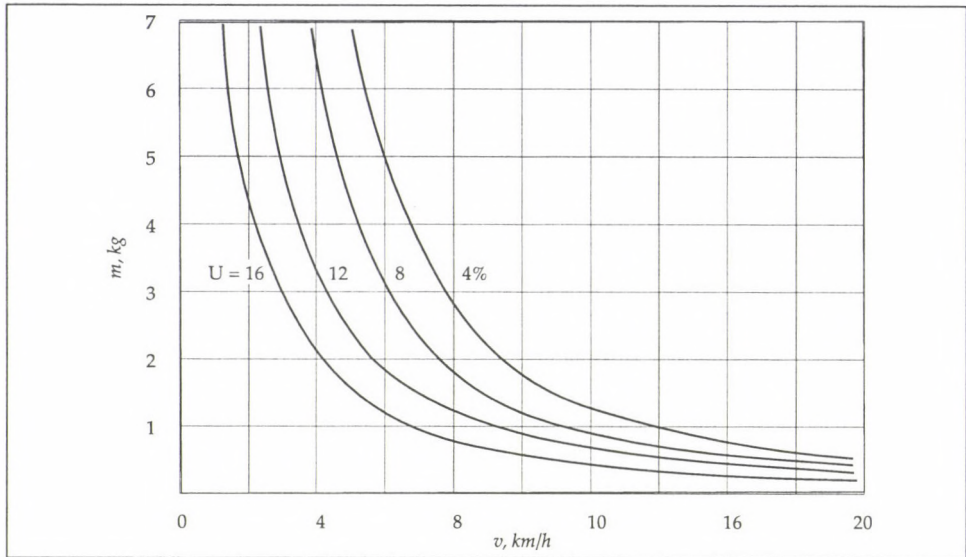
Törés esetén az új felület d^2 -tel arányos, és itt is felírható az energiaegyenlet az (1) egyenlet mintájára:

$$\int P dz = v_f \cdot d^2,$$

ahol z a rög deformációja a boronafoggal való ütközés során. Ha feltételezzük, hogy ez a deformáció a rög méretével arányos ($z = k_1 \cdot d$), akkor

$$\frac{P_{kr} \cdot z}{2z} = v_f \cdot d^2$$

$$P_{kr} = \frac{2v_f d^2}{k_1 \cdot d} = v \cdot d.$$



4. ábra. Összefüggés a rög tömege és a kritikus szerszámsebesség között különböző nedvességtartalmak esetén

Ez utóbbi felhasználásával a (9a) egyenlet így írható:

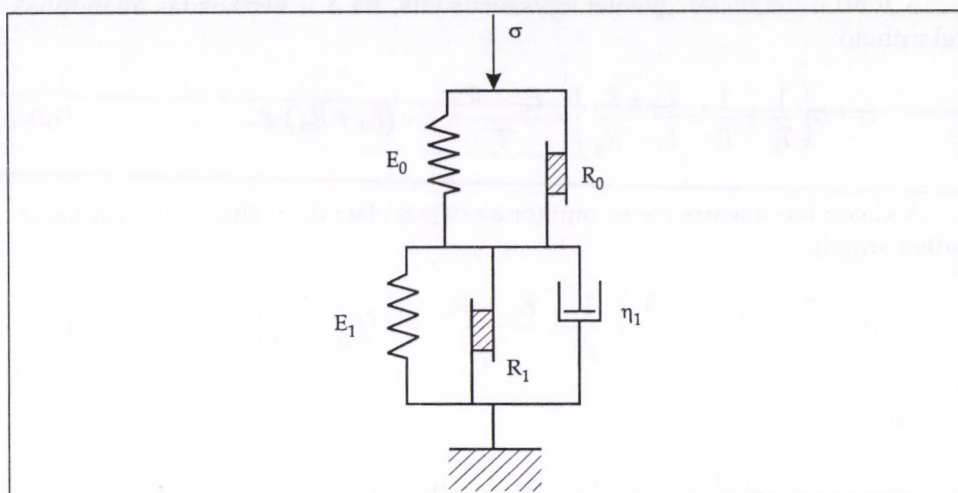
$$m = \frac{d \cdot \Delta t}{v_{kr}} \left(v - k \frac{\pi \cdot z}{4} \right). \quad (10)$$

A (10) egyenlet hiperbolikus összefüggést ír le a rög tömege és a töréshez szükséges kritikus sebesség között. A görbék eltolódnak a fajlagos törési energia és a talajagy ellenállásának függvényében.

A kísérleti eredményeket a 4. ábra szemlélteti, amely összhangban van a levezetett eredményekkel [8].

2.2 Egy új nemlineáris rheológiai módszer tömörítési folyamatok leírására

Mint korábban említettük, a mezőgazdasági anyagok többé-kevésbé mindig összenyomhatók. A tömörítés sok műveletben előfordul (bálázás, brikettálás, forgácslapgyártás), míg más esetben a művelet kényszerű velejárója (járószerkezetek talajtömörítő hatása). A terhelés minden esetben véges sebességgel történik, és a tehermentesítés után maradó deformáció a jellemző. A gyakorlatot itt általában nem a belső feszültségeloszlás érdekli, hanem a terhelőerő vagy nyo-



5. ábra. Súrlódásos elemekkel kiegészített 3 elemes rheológiai modell

más változása a deformáció és a terhelési sebesség függvényében, valamint a maradó deformáció meghatározása.

A legegyszerűbb modellként a kiterjesztett 3 elemes rheológiai modell választható, amely alkalmas a terhelés, a kúszás és relaxáció, valamint a maradó deformáció meghatározására (5. ábra). Egy tömörítési ciklusban a rugalmassági modulus akár ezerszeresére növekedhet, ezért csak nemlineáris módszer jöhet szóba.

A modell differenciálegyenletének levezetésekor minden elemet változóként kezelünk, vagyis teljes differenciálokkal számolunk. Pl. a rugó esetében

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad \text{és} \quad \dot{\sigma} = \dot{E}\varepsilon + E\dot{\varepsilon}.$$

A fenti módszer alapján a modell differenciálegyenlete a következő lesz:

$$\begin{aligned} \ddot{\sigma} + \frac{\dot{\sigma}}{T_0} - \sigma \left[\frac{1}{T_0} \left(\frac{1}{T_1} + \frac{\dot{\eta}_1}{\eta_1} \right) + \frac{1}{T_1} \left(\frac{1}{T_1} + \frac{\dot{\eta}_1}{\eta_1} \right) - \frac{\dot{E}_1 + \dot{R}_1}{\eta_1} + \frac{\ddot{E}_0 + \ddot{R}_0}{E_0 + R_0} - \frac{2}{\eta_1} (\dot{E}_0 + \dot{R}_0) \left(1 + \frac{E_1 + R_1}{E_0 + R_0} \right) \right] = \\ = \left[\frac{2}{T_1} (\dot{E}_0 + \dot{R}_0) + \frac{1}{T_0} (\dot{E}_1 + \dot{R}_1) - \frac{1}{T_0} \frac{1}{T_1} (E_1 + R_1 + \dot{\eta}_1) \right] \cdot \varepsilon + 2(\dot{E}_0 + \dot{R}_0) \dot{\varepsilon} + (E_0 + R_0) \ddot{\varepsilon} \end{aligned}$$

$$T_0 = \eta_1 / (E_0 + R_0) \quad T_1 = \eta_1 / (E_1 + R_1). \quad (11)$$

A fenti differenciálegyenlet egyszerűsödik, ha a η viszkozitás állandónak tekinthető:

$$\dot{\sigma} + \sigma \left(\frac{1}{T_0} + \frac{1}{T_1} - \frac{\dot{E}_0 + \dot{R}_0}{E_0 + R_0} \right) = \frac{E_0 + R_0}{T_1} \cdot \varepsilon + (E_0 + R_0) \cdot \dot{\varepsilon}. \quad (12)$$

A klasszikus lineáris esetre, amikor az összes elem deriváltja zérus, a következőket kapjuk:

$$\ddot{\sigma} + \frac{\dot{\sigma}}{T_0} - \sigma \left(\frac{1}{T_0} + \frac{1}{T_1} \right) \cdot \frac{1}{T_1} = \frac{E_0 + R_0}{T_1^2} \cdot \varepsilon + (E_0 + R_0) \cdot \ddot{\varepsilon} \quad (11a)$$

vagy

$$\dot{\sigma} + \sigma \left(\frac{1}{T_0} + \frac{1}{T_1} \right) = \frac{E_0 + R_0}{T_1} \cdot \varepsilon + (E_0 + R_0) \cdot \dot{\varepsilon}. \quad (12a)$$

A (11) és (12) egyenlet csak numerikusan oldható meg. A (11a) és (12a) egyenletek általában integrálhatók, és ugyanazt a megoldást adják. Tetszőleges értékű, de állandó sebességű terhelést feltételezve

$$\varepsilon = a \cdot t \rightarrow \dot{\varepsilon} = a,$$

amellyel a (11a), illetve (12a) egyenletek megoldása

$$\sigma(t) = E_\infty a t + a T (E_0 + R_0 - E_\infty) \cdot (1 - e^{-t/T}), \quad (13)$$

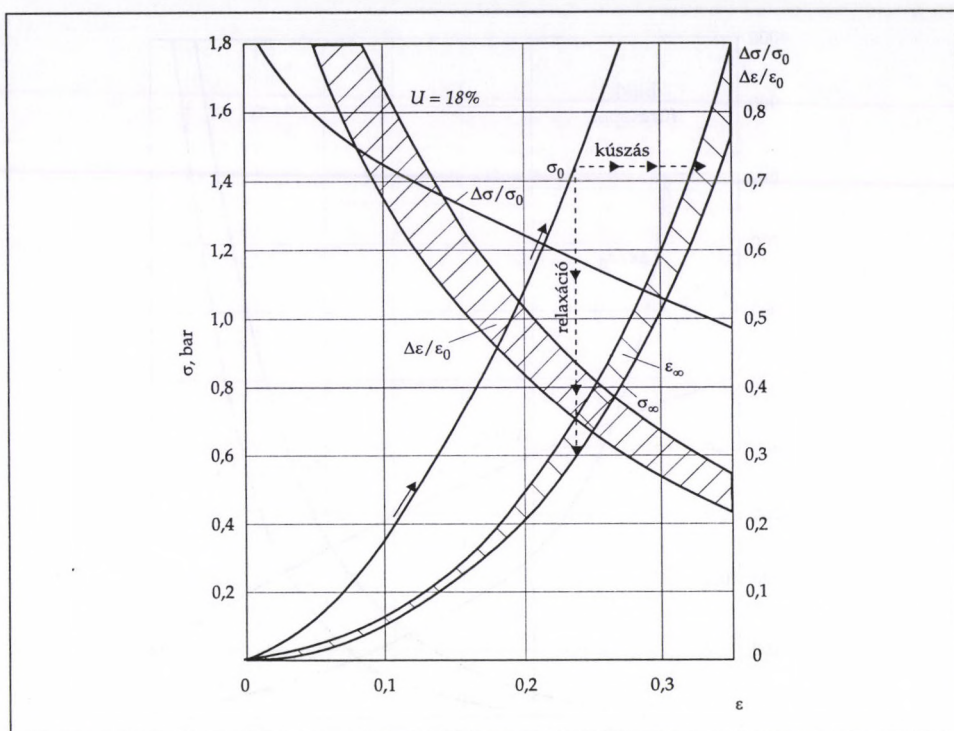
ahol

$$T = \frac{\eta_1}{E_0 + R_0 + E_1 + R_1} \quad \text{és} \quad E_\infty = \frac{(E_0 + R_0)(E_1 + R_1)}{E_0 + R_0 + E_1 + R_1}.$$

A modellben szereplő elemeket bizonyos elméleti megfontolások alapján a következő alakban állítjuk elő:

$$E_i = A_i \frac{\varepsilon^{n-1}}{(1 - \varepsilon)^n}, \quad (14)$$

és hasonló függvény szerint változnak a súrlódásos (R_0 és R_1) és viszkózus elemek is.



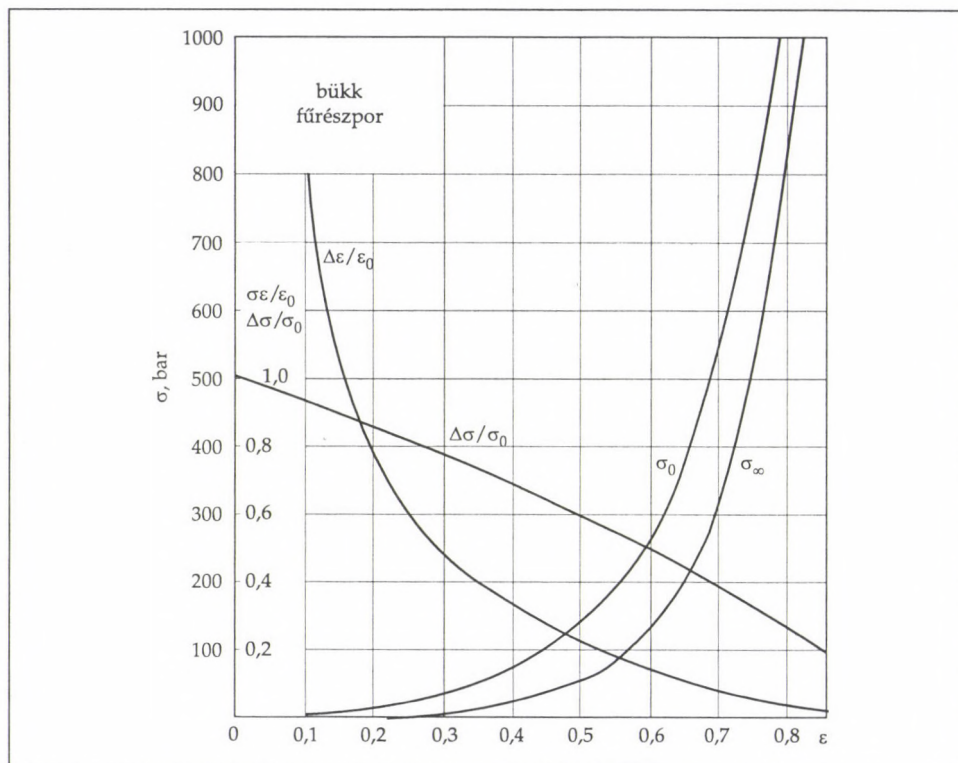
6. ábra. Vályogtalaj tömörítési görbéi, a relatív kúszás és relaxáció változása a deformáció függvényében

A vizsgálatok már korábban rámutattak arra, hogy a reális anyagok viselkedése csak több relaxációs idő alkalmazásával írható le elegendő pontossággal. Ehhez legalább 3 Kelvin-elem sorba kötése szükséges. Ekkor azonban az egyenletek lényegesen bonyolódnak, és romlanak a gyakorlati alkalmazás lehetőségei. Ezért megvizsgáltuk annak lehetőségét, hogy a relaxációs idő tényleges spektrumát meghatározzuk, és azt a számításokba beépítsük. A vizsgálatok szerint a relaxációs idő jól leírható az alábbi típusú egyenlettel:

$$T = T_k + b(t - t_1)^n, \quad (15)$$

ahol t_1 a terhelési idő végét jelenti.

Egy korábbi munkában [13] azt az egyszerű közelítő megoldást alkalmaztuk, hogy a lineáris esetre levezetett (13) egyenletbe a deformációtól függő elemeket helyettesítettük a (14) egyenletnek megfelelően. Az eljárás alkalmas volt a sebes-



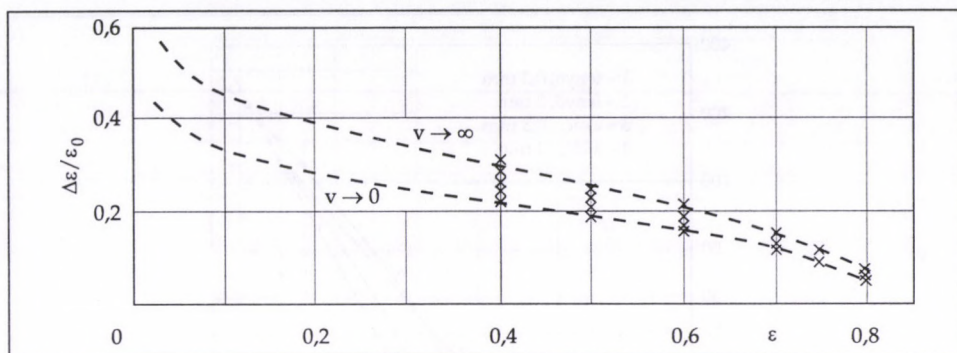
7. ábra. Bükk fűrészpor tömörítési görbéi a brikettálási tartományban

ségtől függő terhelés, kúszás és relaxáció leírására, a maradó deformáció azonban nem volt számítható.

A nemlineáris esetre levezetett (11) és (12) differenciálegyenletekkel részletes numerikus számításokat végeztünk, és az itt kapott eredményeket összehasonlítottuk az előzőekben ismertetett közelítő eljárás eredményeivel. Az összehasonlításból kiderült, hogy a két eljárás 3–5% hibakorláton belül egyezik egymással, annak ellenére, hogy a két eljárás matematikailag nem azonos.

A viszonylag jó egyezés oka abban van, hogy a két eljárás a végtelen gyors és a végtelen lassú terhelési esetre, amikor csak a rugalmas elemek dolgoznak, ugyanazt az eredményt adja. A véges terhelési sebességekre ezek után az eltérés korlátozott.

Részletes kísérleti vizsgálatokat végeztünk különféle mezőgazdasági anyagokkal (talaj, szilázs tömörítése, fűrészpor brikettálása, forgácslap-alapanyagok préselése) a tömörítés általános törvényszerűségeinek meghatározása céljából. A 6. ábrán egy vályogtalaj tömörítési görbéit láthatjuk végtelen gyors és végtelen



8. ábra. Bükk fűrészpor relatív visszarugózása a maximális deformáció függvényében

lassú terhelésre, valamint a relaxáció és kúszás relatív értékeit [12]. Érdekes megjegyezni, hogy a nagyobb problémát a végtelen lassú terhelési eset meghatározása okozta, és a kezdeti bizonytalanságot jelzi a sraffozott mező.

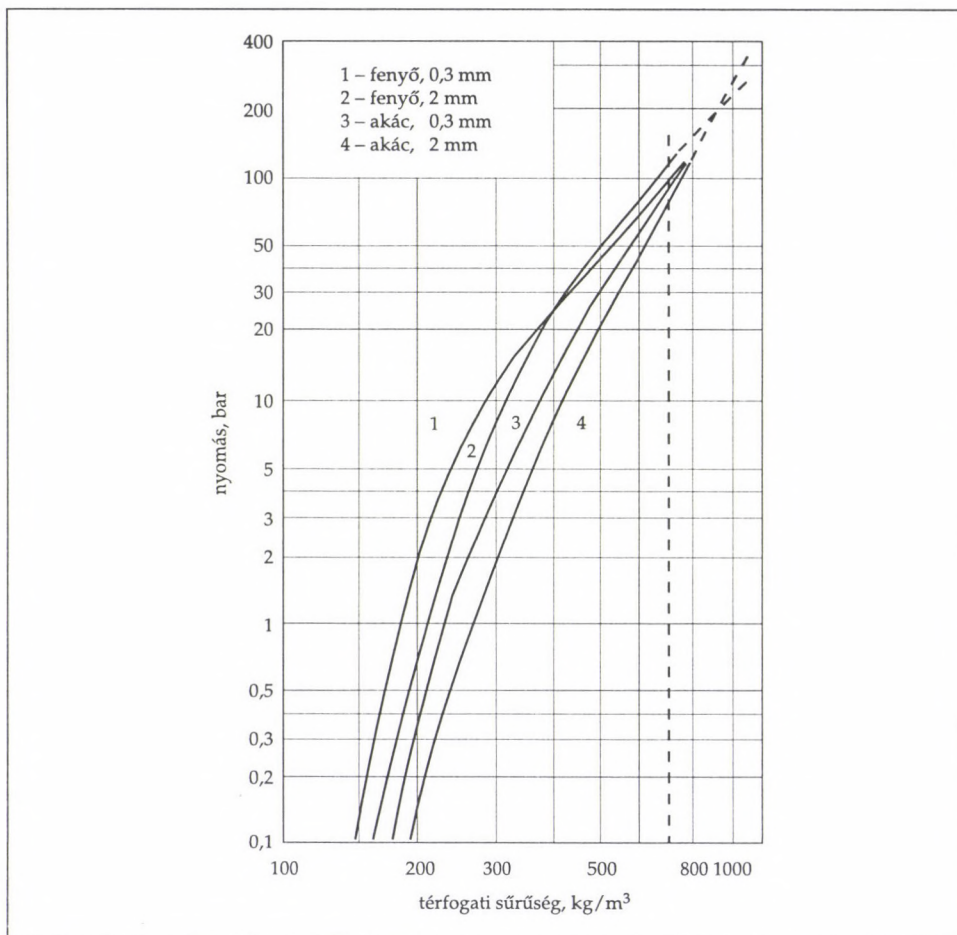
A különféle anyagok tömörítési törvényszerűségei erősen hasonlítanak egymáshoz. A 7. ábra bükk fűrészpor tömörítési görbéit mutatja 1000 bar nyomásig. A nyomás növekedésekor a kúszás és relaxáció relatív értékei fokozatosan csökkennek.

Mivel a plasztikus deformáció a tömörítési művelet szempontjából fontos paraméter, ezért azt mind elméleti, mind kísérleti úton részletesen vizsgáltuk. A maximális összenyomást követően tehermentesítés következik, és az anyag bizonyos értékkel visszarugózik. A visszarugózás értéke határozza meg az anyag tömörségét, a maradó deformációt.

A 8. ábrán láthatjuk a bükk fűrészpor relatív visszarugózását a maximális deformáció függvényében [3]. Az 5. ábra szerinti modell segítségével meghatároztuk a visszarugózás lehetséges sávját, amellyel a kísérleti eredmények jól egyeztek.

A forgácslap préselésekor különböző fafajok különböző méretű szemcséit használják fel. A nyomásgörbék közelebbi vizsgálata azt az első pillanatra meglepő eredményt hozta, hogy egy adott tömörség eléréséhez (jelen esetben 710 kg/m^3) a keményebb akác kisebb nyomást igényel. A kísérletileg felvett nyomásgörbéket a 9. ábrán láthatjuk, logaritmusos koordinátarendszerben. A jelenség magyarázatául a szemcsék fizikai-mechanikai tulajdonságai szolgálnak.

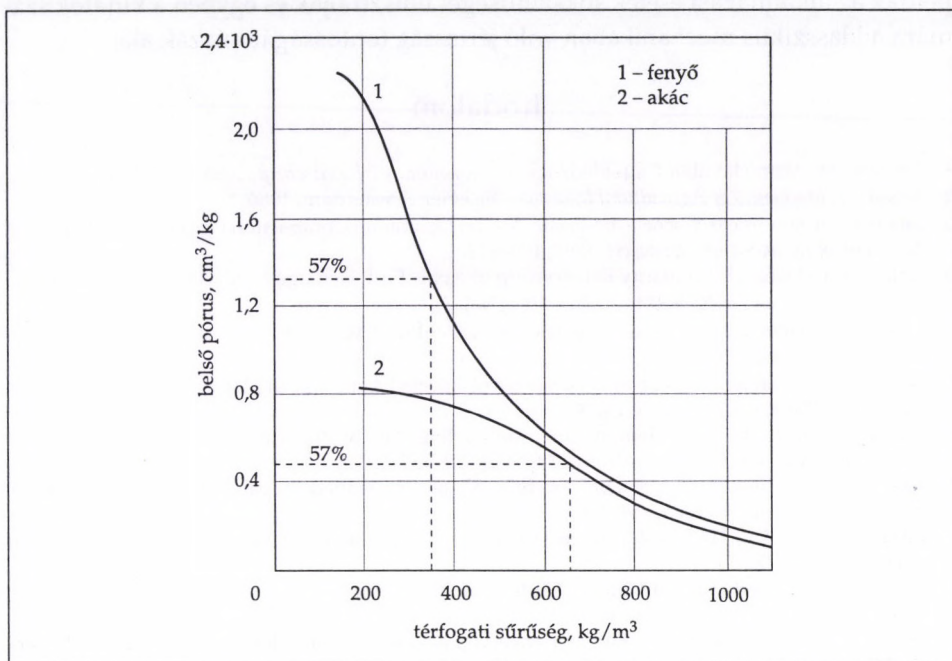
Szemcsés halmazok préselésekor a térfogatcsökkenés egyrészt a szemcsék közötti külső hézagok, másrészt a szemcsén belüli pórusok rovására történik. A préselés első szakaszában elsősorban a külső pórusok fogynak, majd fokozatosan a belső pórusok térfogata is csökken. A belső pórushányadnak megfelelően az egyes fafajok kiinduló térfogatsűrűsége is lényegesen eltérő.



9. ábra. Nyomásgörbék a térfogati sűrűség függvényében különböző fafajokra és szemcseméretekre

Akác esetén a szemcsék térfogati sűrűsége 660 kg/m^3 , ezért a végső sűrűség (710 kg/m^3) eléréséhez a szemcséket csak kisebb mértékben kell tömöríteni. A fenyőszemcsék kiinduló térfogatsűrűsége 340 kg/m^3 , ezért itt a külső pórusok megszüntetése messze nem elegendő a végső sűrűség eléréséhez. Amikor már mindkét anyag szemcséit is lényegesen tömöríteni kell (900 kg/m^3 felett), akkor a keményebb akác nyomásigénye lesz a nagyobb (9. ábra).

A belső pórusok csökkenését a térfogati sűrűség függvényében a két vizsgált anyagra a 10. ábra mutatja. Érdekes eredmény, hogy ha a halmazt a szemcsék kiinduló térfogatsűrűségéig tömörítjük, akkor a belső pórusok 40–43%-a szűnik meg



10. ábra. A belső pórusok változása a tömörítés során a térfogati sűrűség függvényében

mindkét anyag esetében. Vagyis egyrészt a külső pórusok nem szűnnek meg teljesen, másrészt a határoló felülethez közel eső belső pórusok könnyebben megszüntethetők. Ez magyarázza a viszonylag nagyobb belső pórus csökkenését.

A szemcsék mérete adott esetben befolyásolhatja az anyag kirugózását s ezzel a plasztikus deformációt. Mint láttuk, fenyő esetében a szemcséket is lényegesen tömöríteni kellett, ami a sejtfalak plasztikus deformációjával jár együtt. Ezért itt a kirugózás és vele a halmaz plasztikus deformációja gyakorlatilag független a szemcsemérettől (0,3 és 2,5 mm között). Akác esetében az egyedi szemcsék deformációja sokkal kisebb, ezért a nagyobb szemcsék észrevehetően nagyobb kirugózást s ezzel kisebb végső tömörséget adtak.

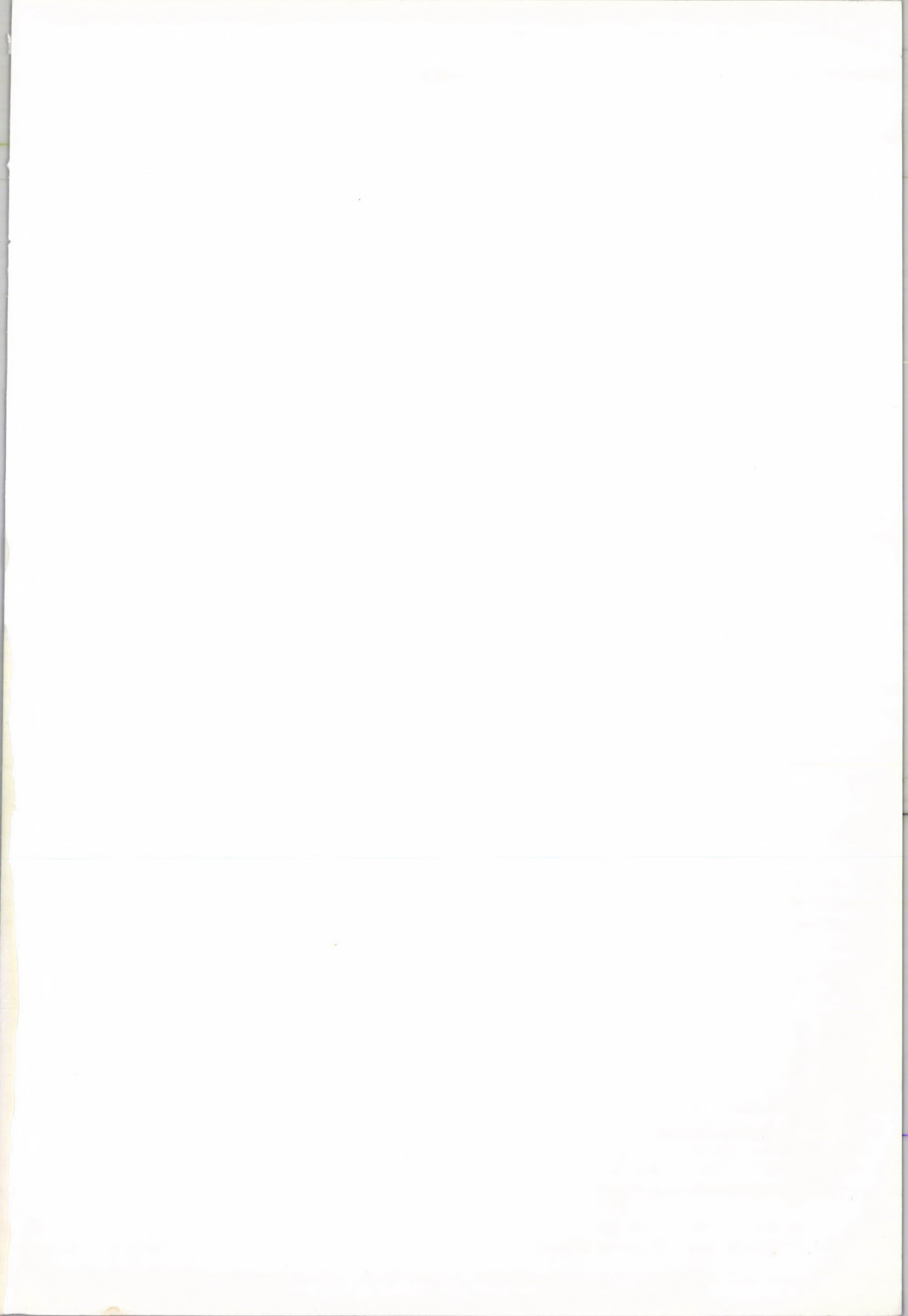
Következtetések

A mezőgazdasági anyagok általában igen bonyolult anyagtörvénnyel rendelkeznek, a pontos viselkedést leíró anyagtörvényekkel ma általában nem rendelkezünk. Ennek ellenére a klasszikus mechanika alaptörvényeinek megfelelő alkalmazása alapvetően segíthet abban, hogy a kísérleti eredményeket jól dolgozzuk fel, s azok többé-kevésbé általánosíthatók is legyenek. A fentiekben bemutatott

példák az alkalmazási esetek sokszínűségét illusztrálják és egyben a kutatók számára a klasszikus mechanikában való jártasság fontosságát húzzák alá.

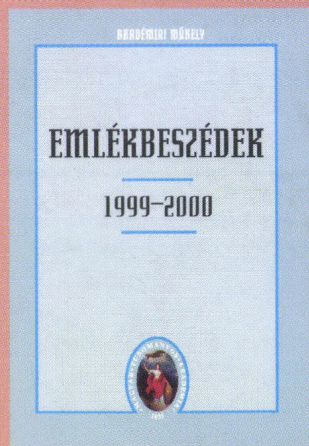
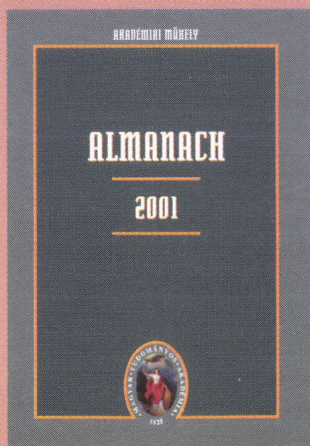
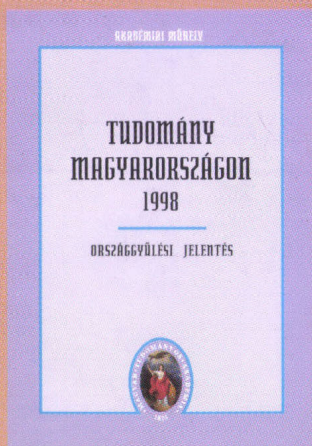
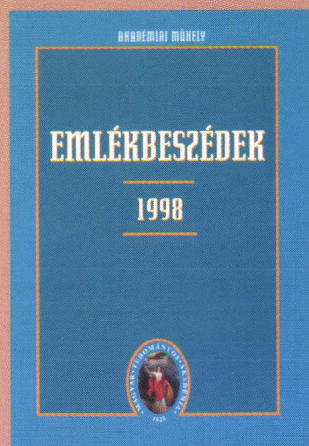
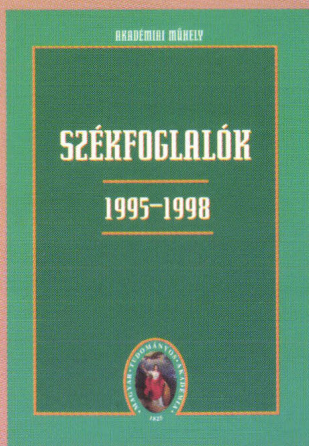
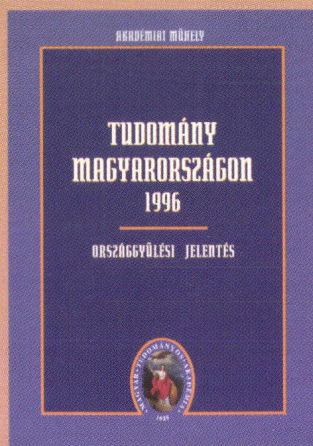
Irodalom

1. Jannsen, H.: Versuche über Getreidedruck in Silozellen. *VDI-Zeitschrift*, 1895, S. 1045–49.
2. Sitkei, G.: *Mechanics of Agricultural Materials*. Elsevier, Amsterdam, 1986.
3. Sitkei, G., A non-linear Viscoelastic-Plastic Model Describing Compaction Processes. *Proc. of the 2nd Int. Conf. of IMACS/IFAC Budapest*, 1997, 105–112.
4. Sitkei, G. and Bajsz, I.: Similarity Relationship of Apple Fruit Damage for Cyclic Dynamic Loading. *Proc. of 2nd Int. Conf. of ICPPAM, Gödöllő*, 1980, Vol. 3.
5. Sitkei, G.: Dynamic Mechanical Properties of Agricultural Materials. *Proc. of 4th Int. Conf. of ICPPAM, Rostock*, 1989, 752–759.
6. Sitkei, G.: General relationship of the Breakup of Selected Agricultural Materials. *Proc. of the 2nd Int. Conf. of ICPPAM, Gödöllő*, 1980, Vol. 1.
7. Sitkei, G.: Effect of Drying Temperature and cooling Rate on the Physical Properties of Shelled Corn. *Proc. of First Int. Conf. on Drying, Montreal*, 1978, 236–238.
8. Sitkei, G.: Basic Regularities of Soil Clod Breakup at the Seedbed Preparation. *Proc. of Int. Conf on Soil Dynamics, Auburn*, 1985, 364–376.
9. Sitkei, G. et al.: Die Theorie des Spanens von Holz. Fortschrittberichte No. 1, *Acta Fac. Ligniensis Sopron*, 1990, S. 72.
10. Sitkei, G.: The Mechanics of Oblique Cutting of Wood. *Proc. of 13th IWMS Conference Vancouver*, 1997, 469–476.
11. Sitkei, G.: Die viskoelastischen Eigenschaften von Ackerböden und deren Einfluss auf die Boden-Rad Wechselwirkung. *Proc. of 4th ISTVS Conf. Stockholm*, 1972, 284–300.
12. Sitkei, G.: Unconfined Compression of Agricultural Soil with Viscoelastic Behavior. *Proc. of the 11th ISTVS Conf. Lake Tahoe*, 1993, 322–331.
13. Sitkei, G.: Non-linear Rheological Method Describing Compaction Processes. *Int. Agrophysics*, 1994, 137–142.
14. Findley, W. et al.: *Creep and Relaxation of Non-linear Viscoelastic Materials*. North-Holland, Amsterdam, 1976.



AKADÉMIAI MŰHELY

1997-ben az Akadémia vezetése úgy döntött, hogy könyvsorozatot indít „Akadémiai Műhely” címmel, amelynek feladata, hogy segítse Akadémiánk működésének rendszerességét, és egyben szervezze is az akadémiai fórumokat. El akarjuk érni, hogy az akadémiai székfoglalókat írásban is készítsék el tagtársaink, ezért jelentetjük meg azokat 1998-tól rendszeresen (*Székfoglalók a Magyar Tudományos Akadémián*). Erősíteni akarjuk a tudótestület tradícióit mint bennünket összetartó erőt és a tudományban a folyamatosság fontosságára figyelmeztető tényezőt. Ezért újítottuk fel az 1949-ben megszakadt emlékbeszédek hagyományát az Akadémia elhunyt tagjairól. Gondoskodni kívánunk ezek kiadásáról (*Emlékbeszédek az MTA elhunyt tagjai felett*). Közreadjuk ezután a közgyűlések alkalmából elhangzott tudományos előadások szövegét (*Közgyűlési előadások*). Ezek mellett megindítjuk az Akadémia történelmében valahogy mindig elmaradt évkönyvsorozatot (*Az MTA Évkönyve*), és rendszeresen megjelentetjük az 1991-ben megszakadt, majd 1997-ben újraindított akadémiai almanachsorozatot (*Az MTA Almanachja*).

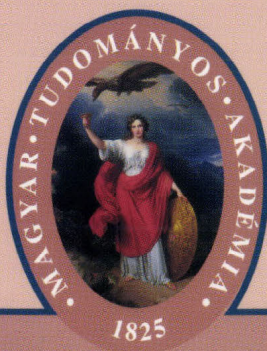


I-II. kötet: 1900 Ft

AKADÉMIAI MŰHELY

KÖZGYŰLÉSI ELŐADÁSOK

1999



KÖZGYŰLÉSI ELŐADÁSOK, 1999

II. kötet

AKADÉMIAI MŰHELY

Közügyűlési előadások

SZERKESZTŐBIZOTTSÁG

Beck Mihály, Glatz Ferenc (elnök), Hámori József, Ritoók Zsigmond

Közgyűlési előadások
1999
II. kötet

MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
Budapest, 2001

Szerkesztő
GLATZ FERENC

Olvasószerkesztő
Pótó János

ISSN 1585-1915

Kiadja
a Magyar Tudományos Akadémia
Kiadásért felel: Szabó B. István
Kiadói szerkesztő: Burucs Kornélia
Nyomdai előkészítés: AbiPrint Nyomdai Szolgáltató Bt.
Nyomdai munkálatok: AKAPRINT Nyomdaipari Kft.
Felelős vezető: Freier László ügyvezető igazgató
Készült.: 21 B/5 nyomdai ívben, 800 példányban

Tartalom

I. kötet

Akadémiánk az új szintézis szolgálatában (Glatz Ferenc)	11
---	----

A NYELV- ÉS IRODALOMTUDOMÁNYOK ÉS A FILOZÓFIA ÉS TÖRTÉNETTUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK EGYÜTTES ÜLÉSE

Nemzeti hagyományaink: állandóság és változás

SZABAD GYÖRGY: Az antiabszolutizmus hagyományai a kiváltságőrzés és a jogkiterjesztés kereszttüzében	17
SZEGEDY-MASZÁK MIHÁLY: A Nemzeti hagyományok időszerűsége	31
MAROSI ERNŐ: Konzerválni, restaurálni, rekonstruálni. A kulturális örökséggel való bánásmód a művészettörténetben	49
KÓSA LÁSZLÓ: A néphagyomány és a nemzeti művelődés – hatvan év után	55
KISS JENŐ: Hagyomány, nyelv és nyelvközösség	63
PLÉH CSABA: A magyar pszichológia kétféle hagyománya: a természeti és a közösségi ember	71
SZENDREI JANKA: Ungarorum Symphonia	83
BÁTHORY ZOLTÁN: Nemzet és globalizáció: a nevelési értékek változása az iskolában	89

MATEMATIKAI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYA

A valószínűség-számítás és a matematikai statisztika határeloszlásai

CSÁKI ENDRE: Határértéktételek a lokális idő Hilbert-transzformáltjára	183
MAJOR PÉTER: A majdnem biztos invarianciaelv és annak mélyebb háttere	103
MÓRI TAMÁS: Futamokkal kapcsolatos határeloszlás-tételek	111
PAP GYULA: Autoregressziós modellekkel kapcsolatos határeloszlás-tételek	123
CSÖRGŐ SÁNDOR: A simítási dichotómia	135

AGRÁRTUDOMÁNYOK OSZTÁLYA

Stratégiai kihívások az ezredfordulón

SIPOS ALADÁR, SZÜCS ISTVÁN: Állami szerepvállalás a mezőgazdaságban	145
STEFANOVITS PÁL: A termőföld szerepe az agrártermelésben	157
RUZSÁNYI LÁSZLÓ: A növénytermesztés és a növényi termék, valamint a környezet minősége	163
PAPP JÁNOS: Versenyképes kertészeti ágazatok fejlesztési koncepciójának alapjai	169
SOLYMOS REZSŐ: Az erdő- és fagazdaság	181
KIRÁLY ZOLTÁN: A magyar növényvédelem korszerűsítésének koncepciója	189
DUDITS DÉNES: A növényi biotechnológia	199
DOHY JÁNOS: Az állat-biotechnológia a termelés szolgálatában	205
HORN PÉTER: Az állattenyésztés fejlesztésének szükségessége és fő irányai	211
MÉSZÁROS JÁNOS, NAGY BÉLA, VARGA JÁNOS: Állategészségügy	223

AZ AGRÁRTUDOMÁNYOK ÉS AZ ORVOSI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK EGYÜTTES ÜLÉSE

Élelmiszerek a humán és állatorvosi patológiában

MÓZSIK GYULA, FIGLER MÁRIA: A táplálékok és az élelmi anyagok felszívódását befolyásoló emésztési folyamatok, anyagok, tényezők egészséges emberekben és betegekben	231
FIGLER MÁRIA, MÓZSIK GYULA: Az emberi test összetétele kóros állapotokban. Elhízás és alultápláltság	243
GÁLFI PÉTER: Rövid szénláncú monokarbonsavak hatása a bél mikroflórájára, az emésztőcső nyálkahártyájára és egyes tumoros sejtekre	251
RAFAI PÁL, ZOMBORSZKYNÉ KOVÁCS MELINDA: Egyes mikotoxinok kórélettani hatásai	257
SZÜTS PÉTER: Gabonapénészek gyermekgyógyászati hatásai	265

AZ ORVOSI TUDOMÁNYOK, A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK ÉS A FIZIKAI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK EGYÜTTES ÜLÉSE

Száz éve született a Nobel-díjas Békésy György

TAKÁCS GYÖRGY: Békésy feladata az Internet korában	273
MICHELBERGER PÁL: A szubjektív kockázati tényezők csökkentése	279
MARX GYÖRGY: Békésy György kulturális gyökerei és interdisziplinaritása	289
PALLÓ GÁBOR: A tudomány és művészet találkozási pontján: Békésy György vándorlásai	295
TARNÓCZY TAMÁS: Békésy György teremakusztikai kutatásai	301
RIBÁRI OTTÓ: Békésy György szerepe a modern hallásjavító műtétek kialakításában	317
SZIKLAI ISTVÁN: Békésy haladóhullám-elmélete és mai felfogásunk az emlősök perifériás hallási mechanizmusáról	325
VÉCSEI LÁSZLÓ: Újabb adatok a neurodegeneratív kórképek és a kísérletes halláskárosodás patomechanizmusához	331
TÓTH MIKLÓS: A cochlea anatómiája	337

MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYA

Mechanika – elmélet és gyakorlati alkalmazások • Mechanika és gépszerkezetek •

Mechanika és tartószerkezetek • Mechanika és anyagtudomány •

Mechanika és élettudomány

PÁCZELT ISTVÁN: A numerikus mechanika szerepe a gépészetben	347
STÉPÁN GÁBOR: Számítógéppel szabályozott gépek dinamikája	359
NYÍRI ANDRÁS: Hidromechanika a gépészeti áramlástechnikában	369
KURUTZNÉ KOVÁCS MÁRTA: A nemlinearitás szerepe és vizsgálata a mechanikában	379
KOLLÁR LÁSZLÓ P.: Kompozitanyagok mechanikája (Kihívások és meglepetések)	437
PROHÁSZKA JÁNOS: Érdekes alakváltozások	447
GINSZTLER JÁNOS: Az erőművi főberendezések megbízhatósága	459
BOJTÁR IMRE: Laza szemcsés anyagok mechanikája	467
MONOS EMIL: A vénás érrendszer biomechanikája	485
KRAKOVITS GÁBOR: Az emberi test csontos vázszerkezetének biomechanikája	491
SITKEI GYÖRGY: Mechanika a mezőgazdasági tudományokban	501

II. kötet

KÉMIAI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYA

A kémia százada

LIPTÁK ANDRÁS: A kémia hozzájárulása a molekuláris biológia mai eredményeihez	531
NÁRAY-SZABÓ GÁBOR: Számítási kémia	547
FURKA ÁRPÁD: Kombinatorikus kémia	559

BIOLÓGIAI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYA

Az ökológia helyzete és perspektívái a felsőoktatásban

MAJER JÓZSEF: Az ökológiaoktatás „diverzitása”	575
TÖRÖK JÁNOS, OBORNY BEÁTA, SZENTESI ÁRPÁD: A szünbiológia oktatás szintjei az ELTE-n	581
GALLÉ LÁSZLÓ: Ökológiai oktatás infrastruktúra nélkül	591
DÉVAI GYÖRGY, LAKATOS GYULA, VARGA ZOLTÁN: A szünbiológia oktatásának stratégiai kérdései debreceni perspektívából	599
VARGA ZOLTÁN: Zoológiai irányú szünbiológiai és evolúciobiológiai oktatás Debrecenben	609
BAKONYI GÁBOR, TUBA ZOLTÁN: Az ökológia-szünbiológia oktatása hazai agráregyetemi szempontból	615
GYURÁCZ JÓZSEF, IZSÁK JÁNOS: A szupraindividuális organizációkkal (SIO) kapcsolatos tantárgyak helyzete a Berzsenyi Dániel Főiskolán	627
KÁRÁSZ IMRE: Az ökológiai képzés helyzete és feladatai a tanárképzésben (az egri főiskola példáján)	631
TÓTHMÉRÉSZ BÉLA: Az ökológia oktatása a 21. század küszöbén és az internet	639

GAZDASÁG- ÉS JOGTUDOMÁNYOK OSZTÁLYA

A 20. század főbb tanulságai és a jövő alternatívái

SIMAI MIHÁLY: A világ gazdaság fejlődésének főbb irányai és Magyarország a 21. század küszöbén	647
BAYER JÓZSEF: A globalizáció és politikai hatásai	669
CSABA LÁSZLÓ: A magyar közgazdaságtan a világáramban	693
HORVÁTH GYULA: Decentralizáció és regionalizmus a 20. századi Európában	705

FIZIKAI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYA

Sugárvédelem és izotóptechnika

Szilárdtestfizika és fizikai anyagtudományok

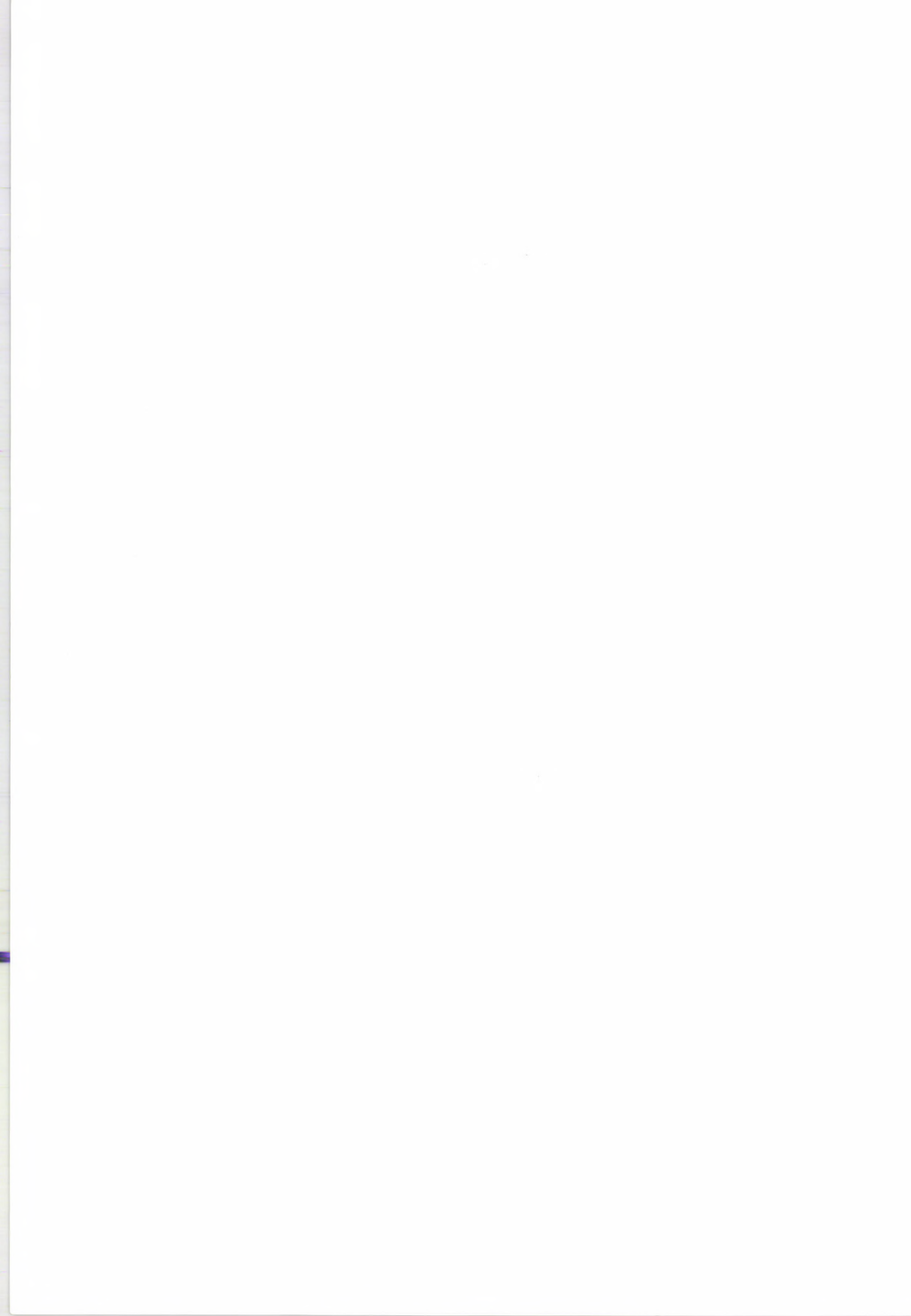
A statisztikus fizika újabb eredményei

MARX GYÖRGY: Nukleáris hulladékok végleges elhelyezése	735
VAJDA NÓRA, BÓDIZS DÉNES, MOLNÁR ZSUZSA, JERZY W. MIETELSKI: Radioizotópok terjedésének nyomon követése talajban	741
KÖTELES GYÖRGY, TÓTH ESZTER: Gondolatok az ionizáló sugárzás kis dózisainak hatásairól	751
HERTELENDI EDE: Légköri nukleáris fegyverkísérletek által termelt T, ^{14}C és ^{137}Cs segítségével végzett analitikai vizsgálatok	767
KAJCSOS ZSOLT, LISZKAY LÁSZLÓ: Felületközeli, hosszú élettartamú pozitronium-állapotok mikropórusos rendszerekben	777
BÍRÓ LÁSZLÓ PÉTER, MÁRK GÉZA, SZABÓ BÁLINT, GYULAI JÓZSEF: Nanocsövek, szilárdtestek, nagy energiájú ionok. (A szilícium utóda?)	797
PUSZTAI LÁSZLÓ: A reverse Monte Carlo-módszer szilárdtest-fizikai alkalmazásai	801
TÉL TAMÁS: Reakciók kaotikus áramlásokban	805
CSORDÁS ANDRÁS: Egy új kvantumközeg: Bose-Einstein kondenzált gázok	815
JÁNOSI IMRE: Fizikusok a tőzsdén	827
VATTAY GÁBOR, CSERTI JÓZSEF, SZÁLKA GERGELY, KOLTAI JÁNOS: Periodikus mezoszkopikus struktúrák vezetési tulajdonságai	833

ANYAGTUDOMÁNYI BIZOTTSÁG

Anyagtudomány ,99

BERKÓ ANDRÁS, SOLYMOSI FRIGYES: Kétdimenziós modell-rendszerek, nemesfém nanoklaszterek oxidfelületeken	851
---	-----



KÉMIAI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYA

A KÉMIA SZÁZADA

A kémia hozzájárulása a molekuláris biológia mai eredményeihez

A 20. századot joggal nevezhetjük a tudomány századának. A különböző tudományok közötti rivalizálás, hogy melyik tudná a századot kisajátítani, inkább emberi gyarlóságot, mint támadhatatlan érvrendszert rejt maga mögött. Sokkal inkább elfogadhatjuk azt a megállapítást, hogy a követhetetlenül gyors fejlődés a különböző diszciplínák együttműködésének köszönhető.

A természettudományok, a műszaki és az élettudományok eredményei kétségtelenül látványosabbak, mint a társadalomtudományoké, hiszen ezek a széles tömegek életkörülményeit valóban számszerűsíthető adatokkal bizonyíthatóan előnyösen befolyásolták. Kétségtelen, hogy a fizika, a matematika, a kémia és a biológia eredményei átfomálták életvitelünket, életkörülményeinket. Meghosszabbították az átlagéletkort, kényelmesebbé, otthonosabbá tették mindennapjainkat, kitágították a környező világról alkotott ismereteinket és tudásunkat. Egyidejűleg azonban hihetetlen módon felcsigázták a társadalom részéről megfogalmazott elvárásokat, felfokozott, sokszor megalapozatlan igényeket.

Annak felvázolása, hogy mivel járult hozzá a kémia a 20. század tudományos, gazdasági eredményeihez, szinte lehetetlen, és számos szubjektív véleménnyel terhelt vállalkozás lenne, hiszen napjaink vegyiparának évi termelése körülbelül 1000 milliárd ECU, s ebből Európa 300 milliárd ECU-vel részesedik. A legfontosabb tudományos eredmények felsorolása is aligha valósítható meg, hiszen a ma létező közel 10 millió szerves vegyületnek legalább 95%-a századunkban vált ismertté. Szűkítve a feladat nagyságát, legfeljebb arra az eleve kudarca ítélt próbálkozásra szorítkozom, hogy felvázoljam: a kémia miként járult hozzá századunkban a molekuláris biológia eredményeihez. E területen is további megszorításokra kényszerülök, és főleg a szerves és részben a radiokémia szerepvállalását kísérem meg, saját tapasztalataim, ismereteim és érdeklődésem alapján, nagy vonalakban bemutatni.

Ahhoz, hogy a vázaltszerűen bemutatásra kerülő eseményeket felsorolhassuk, két, közvetlenül a századfordulót megelőző, véletlenszerű felfedezéshez kell visszanyúlnunk.

Tudománytörténeti fordulópont a múlt század utolsó évtizedében

Becquerel 1896-ban az uránvegyületek vizsgálata során felismerte a természetes radioaktivitás jelenségét, s ezért 1903-ban Pierre Curie-vel és Marie Skłodowska-Curie-vel együtt „a spontán radioaktivitás felfedezéséért” Nobel-díjat kapott. Az emberiség ősi vágya, az alkimisták évezredekre visszanyúló fáradozásainak, az „aranycsinálásnak”, az elemek átalakításának elvi lehetősége tűnt fel a láthatáron, és rövid időn belül kiderül, főleg Thomson és Aston vizsgálatai alapján, hogy az elemek izotópjaik keverékeként fordulnak elő a természetben, s ezek közül számos spontán bomlással más elemekké alakul át.

Eduard Buchner német kémikus 1897-ben fedezte föl a cukrok sejtmentes erjedését, amelyért 1907-ben nyerte el a Nobel-díjat. Ezzel a felfedezéssel végleg megdőntötte a *vis vitalis* elvét, amelyet Wöhler már 1824-ben a dicián oxálsavvá történő hidrolízisével, majd kálium-cianát ammónium-klorid cserebomlása alkalmával karbamid (1928) előállítására révén megingatott, de Pasteur 1857-ben végzett vizsgálatai alapján még ekkor is úgy vélték, hogy a cukor erjedése az élesztősejt vitális funkciója. Buchner vizsgálatai kizárták az élő sejtek jelenlétét, és csak a sejtek által termelt, általa *zimáznak* nevezett anyagok, enzimek jelenlétét tartotta fontosnak. Itt megint az emberiség kultúrtörténetének évezredekre visszatekintő megfigyelései, az alkoholos, tejsavas és ecetsavas erjedés felderítése előtt nyílt meg a lehetőség, és nyitányát biztosította az örökletes tulajdonságok ős-utódra való átvitelének, az állat- és növény-nemesítés eredményeinek molekuláris szintű értelmezésére.

Anyagcsere-vizsgálatok molekuláris szinten

Közel 40–45 éves kutatás, amelyben a legjobb kémikusok, biokémikusok vettek részt, részleteiben is tisztázta azt a folyamatot, amelyet ma *glikolízisnek* nevezünk, felderítve valamennyi enzim, koenzim, közti- és végtermék szerkezetét, a folyamat energiamérlegét. Véglegesen és általánosan elfogadottá és bizonyítottá vált az a tény, hogy az enzimkatalizált reakciók az élő szervezetekben is követik a kémia törvényeit, és az anyagcserét egyértelműen kémiai reakciók sorozatára lehet visszavezetni.

Emden-Meyerhof folyamat felderítésének alapját azok a szénhidrátkémiai vizsgálatok biztosították, amelyek a századfordulón elsősorban Emil Fischer berlini laboratóriumában folytak, de ebben az intézetben rakták le a fehérjék és bizonyos mértékig a nukleinsavak vizsgálatához szükséges alapokat is, hiszen a 20. század első évtizedének a végére valamennyi aminosav szerkezete már ismert volt, és elvégezték a purin- és a pirimidin-bázisok szintetikus előállítását is.

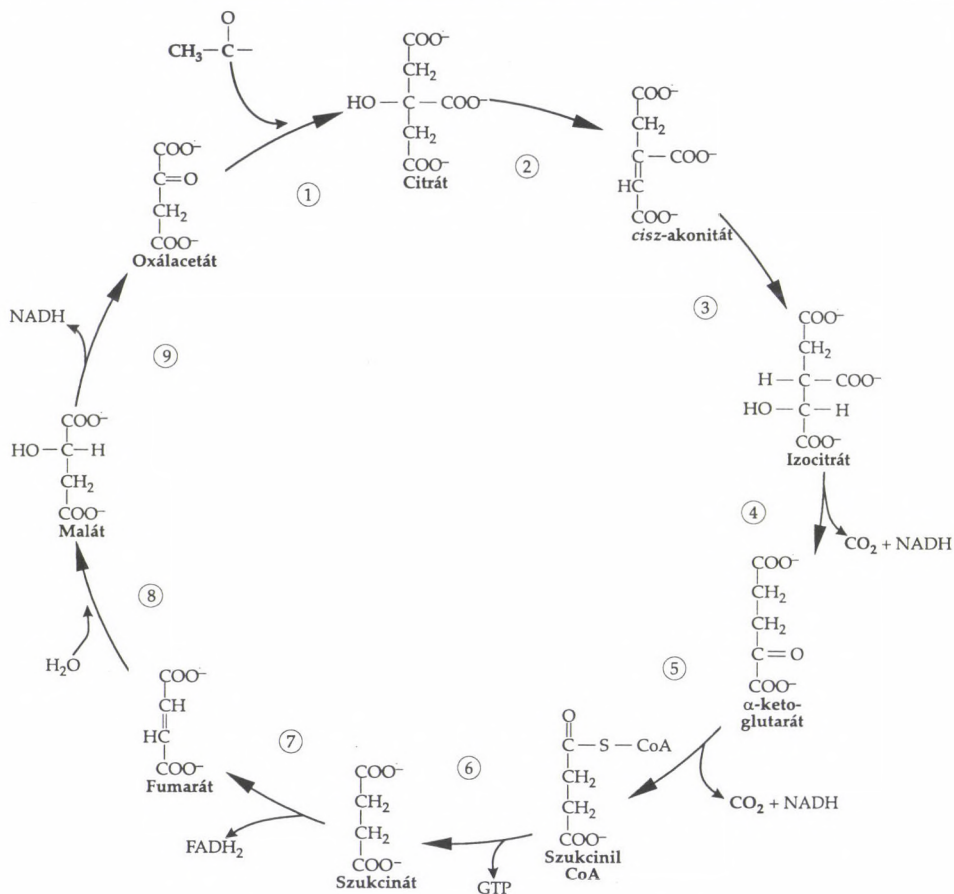
A glikolízis lépéseinek felderítése lerakta a modern fehérjekémia alapjait is, a folyamat valamennyi enzimét tiszta formában izolálták, számosat közülük kristályosítottak is. Az enzimkinetika alapjainak lerakásával tisztázódott, hogy valamennyi enzim katalizálta folyamatban a reakciók sebessége 5-6 nagyságrenddel növekszik a reakciók aktiválási energiájának csökkenése révén, de nem változik meg a reakciók egyensúlya. Rendkívül figyelemreméltó az a megállapítás is, hogy a reakciók során felszabaduló energia nem hő formájában, hanem „energia-csomagokban”, ATP-ben konzerválódik, amely a legkülönbözőbb folyamatok energiaszükségletét képes fedezni.

Fontos megállapítás volt az is, hogy szénhidrátok lebontása során a hexózok piroszólósavvá történő átalakulása nem oxidáció, hanem dehidrogéneződés révén történik, s az erjedés végtermékei – alkohol, aceton, tejsav – anaerob körülmények között éppen a redukált koenzimek regenerálódása révén képződnek. Aerob körülmények között a koenzimekből a hidrogént a terminális oxidáció során a különböző redoxrendszerek közreműködésével az oxigén veszi át, s közben ATP termelődik, a glikolízis végterméke, a piruvát pedig acetilkoenzim-A formában a Szent-Györgyi–Krebs ciklusban hasznosul tovább, s az itt keletkező redukált koenzimek a terminális oxidációs rendszerben ATP-termelésre fordítódnak.

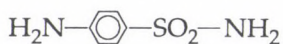
A Szent-Györgyi–Krebs ciklus az élő szervezet anyagcsere-folyamatainak nagy gyűjtőmedencéje, amelybe nemcsak a szénhidrátok, hanem az aminosavak, a nukleozidok, a lipidek lebontási termékei is áramlanak, s részleges energia-(GTP) termelés mellett a C-atomok szén-dioxiddá égnek el, a hidrogének pedig koenzimekre (NAD, FAD) kerülnek. Ez a ciklus azonban számos bioszintetikus folyamathoz kiindulási anyagot is szolgáltat, azaz az anyagcsere-folyamatok központja (1. ábra).

A század első felében a legkiválóbb kémikusok foglalkoztak például a koenzimek szerkezetének felderítésével és szerkezetbizonyító szintézisük megvalósításával. Ahogy már említettem, a Szent-Györgyi–Krebs ciklus az anyagcsere-folyamatok gyűjtőmedencéje, a folyamat részleteinek felderítésében Szent-Györgyi Albert munkássága meghatározó volt. Mellőzve a részleteket, egyetlen lépést kívánok kiemelni: a borostyánkősav dehidrogénezését fumársavvá. Az enzim a borostyánkősav-dehidrogenáz, koenzime pedig FAD. Működése malonsavval gátolható. A gátlás vetélkedőgátlás, a szubsztrát és az inhibitor közötti szerkezeti hasonlóságon alapul. Ez a felismerés a modern gyógyszerkutatás egyik vezérlő elve lett számos új gyógyszer kidolgozásánál.

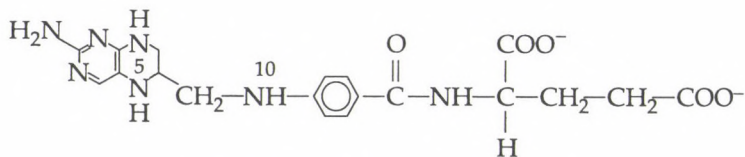
Az első szintetikus antibakteriális szer a Domagk által 1935-ben fölfedezett prontozil volt, hatóanyaga a p-amino-benzolszulfonsavamid (2. ábra), amely a baktériumok számára vitamin jellegű tetrahidrofolsav (3. ábra) egyik eleme, a p-amino-benzoészav szintézisének a kompetitív inhibitora.



1. ábra. A Szent-Györgyi-Krebs ciklus lépései



2. ábra A *p*-amino-benzolszulfonsavamid szerkezete



3. ábra A tetrahidrofolsav szerkezete

A tetrahidrofolsav aktivált C_1 -töredékeket (CH_3- , $-CH_2-$, $-CHO$, $-CH=NH$, $-CH=$) transzferál; valamennyi élő szervezet számára fontos koenzim. Jóllehet, az emberi szervezet nem képes szintetizálni, a baktériumokkal való szimbiózis révén rendelkezésünkre áll.

Analóg jelenség a foszfátészter típusú növényvédő szerek okozta mérgezések acetilkolin adagolásával történő feloldása vagy akár az etilénlikol-mérgezetek detoxikálása etilalkohollal. Ezek a beavatkozások minden esetben a kérdéses enzimek működésének kompetitív gátlásán, illetve a gátlás feloldásán alapulnak, és Szent-Györgyi Albert felismerésére vezethetők vissza.

A makromolekulák új szerkezetvizsgálati módszereket igényelnek

Az enzimek, általában a proteinek voltak az első makromolekulák, amelyeknek a hagyományos szerves kémiai vizsgáló módszerrel történő tanulmányozásától eredményt nem lehetett várni. Itt a röntgenkristallográfia hozott kiemelkedő új ismereteket. Ma már több százra tehető a röntgenkristallográfiával felderített szerkezetű proteinek száma. Ezek közül az első az oxigént raktározó mioglobin, illetve az oxigént szállító hemoglobin volt.

A vizsgálatok a világhírű angol Bragg laboratóriumban indultak, a bátor vállalkozó egy osztrák doktorandusz, Perutz volt, aki 1935-ben kezdte el vizsgálatait, és 1957-ben sikerült a feladatot megoldani. Kendrew később csatlakozott Perutzhoz, s a mioglobin vizsgálata 8-10 év alatt lezárult. Együtt kaptak Nobel-díjat 1962-ben.

A humán hemoglobin a legrészletesebben tanulmányozott protein, amely négy alegységből épül fel, ezek közül kettő-kettő azonos ($\alpha\alpha$, $\beta\beta$) a felnőttek hemoglobinja (HbA) esetében. Az α -láncok 141–141 aminosavból, míg a β -alegységek 146–146 monomerből épülnek fel. Mind a négy globinlánchoz egy-egy hem (protoporfin IX) molekula kapcsolódik, négy-négy pirolgyűrűjük egy ferroatomot koordinál. A röntgenkristallográfiai vizsgálatokból nemcsak a fehérjeláncok szekvenciája, hanem ezek konformációja is ismeretessé vált, amely fényesen bizonyította, hogy szekvenciálisan igen távoli aminosavak is térközelbe kerülhetnek, s továbbá azt is, hogy az aminosavak 75%-a α -helix-struktúrába rendeződik. A hemoglobin oxigénkötő képességét két hisztidin aminosav regulálja, s az oxigén megkötése révén az egész molekula nagymértékű konformáció-változást szenved. Egyértelműen tisztázódott, hogy a globinláncok milyen mechanizmus szerint csökkentik a vas szén-monoxid és a cianid iránti affinitását.

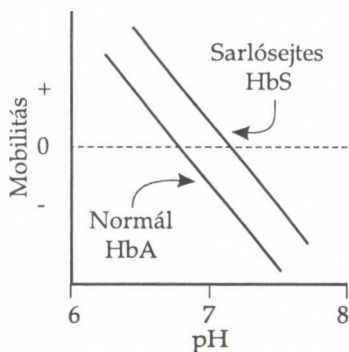
Az alegységekből felépülő hemoglobin az úgynevezett *alloszterikus* proteinek közé tartozik, s három anyag, így a szén-dioxid, a proton és a bifoszfoglicerinsav (BPG) szabályozza a tetramer oxigénaffinitását. Az első kettő, mint a perifériás szövetek sejtjeiben képződő anyagcsere-termékek, csökkenti a hemoglobin oxi-

génhez való affinitását, így növeli a sejtek oxigénnel való ellátottságát. A BPG ugyancsak a hemoglobin oxigénkötő képességét csökkenti a szövetekben, de a különbség a CO_2 és H^+ hatásával szemben, hogy a négy alegységet egyetlen molekula BPG szabályozza. A BPG élettani szerepe az, hogy jelenlétében felgyorsul az oxigénleadás a perifériás szövetekben, hatására a hemoglobin oxigéntelítődési görbéje a nagyobb parciális nyomás irányába tolódik el. Konkrétan ez azt jelenti, hogy BPG jelenlétében a P_{50} (26 torr, hiányában azonban 1 torr, ami körülbelül huszonhatszoros affinitásváltozást jelent. Már korábban megfigyelték, hogy magas hegyvidéken élő népeknél a vér BPG-koncentrációja körülbelül kétszerese a tengerszinten élő emberekének. Azt is megfigyelték, hogy hegymászóknál a magassághoz való adaptáció hatására a BPG koncentrációja a vörösvértestekben fokozatosan növekszik, továbbá, hogy ez az adaptáció néhány napot igényel. Ez a körülmény a hegymászók számára szigorú emelkedési programot ír elő.

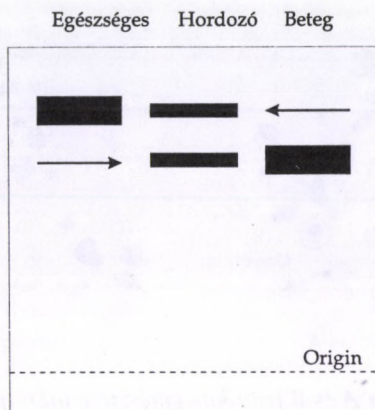
A BPG koncentrációja a vérkonzervekben a tárolás folyamán drasztikusan csökken, az ilyen vér erősen köti az oxigént, és a szövetekben azt nem adja le. Ennek korábban, műtétek alkalmával számos tragikus következménye volt. A BPG koncentrációjának helyreállítása közvetlen BPG-adagolással nem oldható meg, mert az eritrociták sejthártyája a nagy töltéssűrűségű BPG számára átjárhatatlan. Egy bonyolult szénhidrát-metabolizmus, a pentózfoszfátos ciklus részleteinek felismerése szolgáltatta a megoldást; inozin képes bejutni az eritrocitákba, és a ribóz része a pentózfoszfát-cikluson keresztül biztosítja a vér BPG-koncentrációját.

A fehérjék szerkezeti rendellenessége és különböző betegségek összefüggése

A hemoglobin-rendellenességek közül számos molekuláris szinten is felderítették. Ezek közül a leggyakoribb az úgynevezett „sarlósejtes anémia”, amely külö-



4. ábra. A HbA és HbS gélelektroforetikus vándorlásának pH-függése



5. ábra. Egészséges, hordozó és beteg egyének hemoglobinjának gélelektroforetikus képe

nősen az amerikai feketék között gyakori (4%) örökletes betegség. A betegeknél az eritrociták közel 50%-a sarló alakú a normális diszkoid alak mellett. A hemoglobin S molekulák (HbS) dezoxigenált állapotban igen alacsony oldékonyságot mutatnak, a hajszálerekben összetapadnak és kicsapódnak. Ez a jelenség leggyakrabban a vesetubulusok hajszálereit károsítja.

Linus Carl Pauling a HbA és a HbS fizikai-kémiai tulajdonságait vizsgálva megállapította, hogy ezek a proteinek eltérő elektroforetikus mobilitást mutatnak (4. ábra), sav-bázis titrálás alapján a HbS 2-4 pozitív töltéssel többel rendelkezik, mint a normál hemoglobin (HbA).

Ezt a feltételezést alátámasztotta az egészséges gént hordozó (heterozigóta) és a beteg (homozigóta) egyének hemoglobinjának gélelektroforetikus elválasztása is (5. ábra).

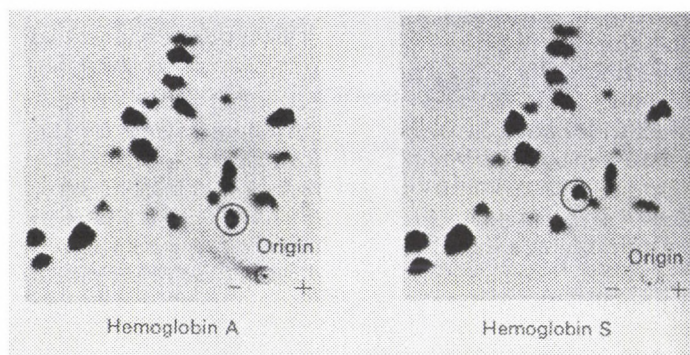
A pontos szerkezeti különbséget 1954-ben Vernon Ingram vizsgálatai derítették fel. Tripszines emésztés után nyert peptidkeveréket az úgynevezett „fingerprint”, „ujjlenyomat”-módszerrel vizsgált. Mindkét hidrolizátum 28-28 oligopeptidet tartalmazott (6. ábra), közülük 27 azonosnak bizonyult, a 28. peptid szekvenciáját vizsgálva kiderült, hogy a β -láncból eredő oligopeptid a 6-os pozícióban eltérő aminosavat tartalmaz:

HbA Val-His-Leu-Thr-Pro-Glu-Glu-Lys-

HbS Val-His-Leu-Thr-Pro-Val-Glu-Lys-

1 2 3 4 5 6 7 8

A glutaminsav helyett megjelenő valin a β -láncokon egy hidrofób felületet képez, amelyek apoláris-apoláris kölcsönhatás révén, különösen dezoxigenált formában, a hemoglobin-molekulák összetapadásához vezetnek. Ez volt az első



6. ábra. Hemoglobin A és B triptikus emésztése után nyert peptidkeverék elektroforetikus elválasztással nyert „ujjlenyomat”-képe

eset a modern biológiában, amikor egy örökletes betegség molekuláris szintű felderítése megtörtént, így méltán nevezhetjük tudománytörténeti mérföldkönek.

A polimerek, így a fehérjék esetében is fontos szerkezeti tényező a szekvencia, az építőelemek kapcsolódási sorrendje.

Makromolekulák szekvenálása

A proteinek esetében a kémiai, enzimatis, az elválasztástechnikai és műszeres módszerek szerencsés kombinálása szinte rutinszerű feladattá tette a szekvenálást. Eredményes szekvenáláshoz a proteinek kisebb tagszámú (< 50 aminosav) oligopeptidekké bontják le kémiai (cianogénbromid, jodobenzonsav, hidroxilamin és/vagy 2-nitro-5-tiocianobenzoesav) módszerekkel vagy specifikus enzimekkel (tripszin, kimotripszin, klosztripain). E peptidek lebontása végcsoportjelzéssel (2,4-dinitrofenil-fluorid, dabzilklorid, danzilklorid) csak a N-terminális aminosav egyértelmű meghatározását teszi lehetővé, míg az Edman-lebontás a lépésenkénti aminosav-azonosítást, azaz tényleges szekvenálást biztosít. Az Edman-lebontásban az N-terminális aminosavra fenil-izotiocianátot addicionálnak, és a keletkező tiokarbamid származékot enyhe savas hidrolízissel szubsztituált feniltiohidantoin formában azonosítják (7. ábra). Az eljárás teljesen automatizálható.

Eltekintve a szekvenálást közvetlenül megelőző enzimatis lépésektől, a szekvenálás korábban felismert kémiai reakciók alkalmazásán s a fragmentek kromatográfiás elválasztásán és azonosításán alapszik.

Egészen a legutóbbi időig, a prionok harmadik felfedezéséig, az volt az elképzelés, hogy a fehérjék primer szerkezetének, a szekvenciának az ismeretében megjósolható azok konformációja is, mert adott biológiai körülmények

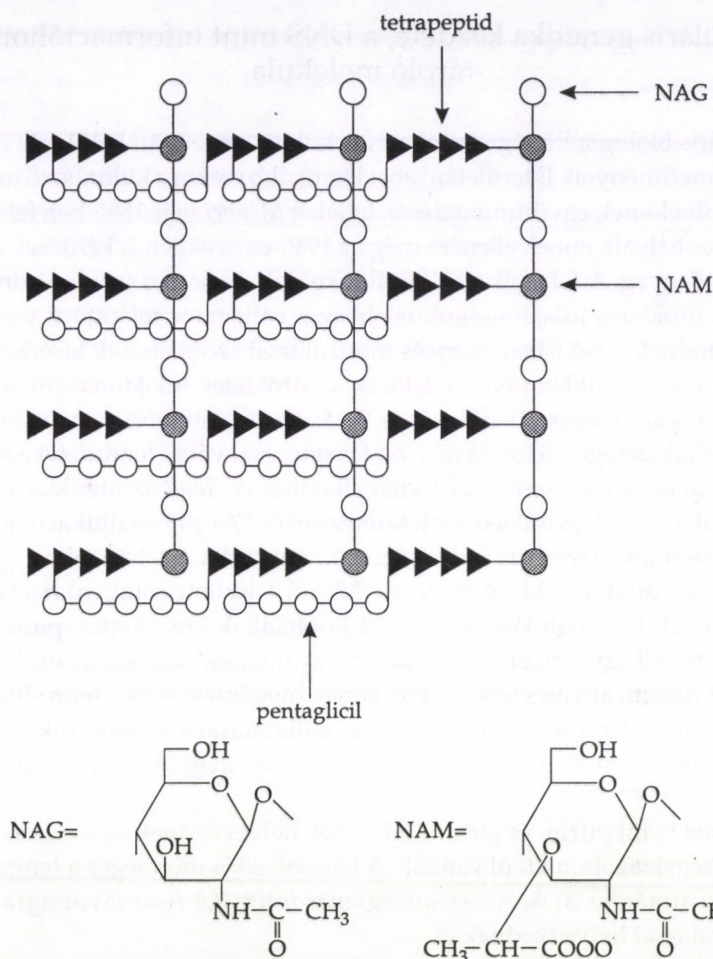
között a fehérjék az energetikailag legkedvezőbb konformációt veszik fel. A pri-onok megjelenése arra mutat, hogy ezek a transzmembrán-fehérjék egy autokatalikus folyamatban, a primer szerkezet változása nélkül olyan konformációba mennek át, amely teljesen megváltoztatja fizikai viselkedésüket (hőstabilitásukat, proteolitikus stabilitásukat), biológiaiilag pedig kórossá válnak.

A proteinek legnagyobb része általában valamilyen enzimfunkciót tölt be. Biológiai jelentőségük alapján a századfordulótól kezdve napjainkig a molekuláris biológiai kutatások középpontjában álltak. Az első röntgenkristallográfiai vizsgálatokkal is felderített szerkezetű enzim a *lizozim* volt, amelyet *Fleming* még az 1920-as években az antibakteriális szerek utáni kutatásai során fedezett fel. A lizozim a glikozidázok közé tartozik, a baktériumok sejtfalát hidrolitikusan bontja. A lizozim inkább a kisebb fehérjemolekulák közé tartozik, mindössze 129 aminosavat tartalmaz, molekulatömege 14,6 kd. A baktériumsejtfal N-acetil-muramilsav (NAM) és N-acetilglükózamin (NAG) egységekből β -(1 \rightarrow 4)-kötésekkel épül fel. Az enzim a NAM \rightarrow NAG közötti kötéseket hidrolizálja, de nem érinti a poliszacharid-láncokat összekötő peptid-keresztkötéseket (8. ábra).

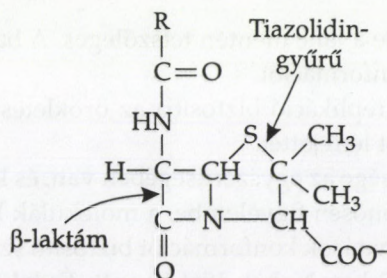
Ezek kialakulását azonban akadályozza az ugyancsak *Fleming* által 1928-ban felismert penicillin (9. ábra).

A lizozim térszerkezetét 1965-ben *Phillips* határozta meg. Kiderült, hogy benne az α -helix szerkezeti egységek mellett főleg a β -lemezek dominálnak, s a térszerkezet kialakulásában az apoláros kölcsönhatások meghatározó szereppel bírnak. Az enzim a szubsztrátot (poliszacharid) hidrogénhidakon keresztül köti (59, 62, 63, 101 és 107-es aminosavak részvételével), a kötés hidrolízisében az Asp-52 és a Glu-35 aminosavak játszanak döntő szerepet. A vizsgálatok a glikozidos kötés hidrolízisének valamennyi mozzanatára fényt derítettek, arra például, hogy a glikozidos kötés a C₁-O₄ kötés között hasad, oxokarbónium-ion képviseli a reakció átmeneti állapotát, amely félszék-konformációban szerepel, a hidrolízis közti-terméke egy glikozilészter, amelyet a jelenlévő OH⁻ a β -oldalról támadva, kettős inverzióval retenciós terméket ad. Az átmeneti állapothoz hasonló konformációjú aldolalaktonok valamennyi glikozidáz esetében inhibitorként viselkednek.

A penicillin, az első, természetből izolált antibiotikum, tiazolidin- és β -laktamgyűrűt tartalmaz. Antibakteriális hatását azáltal fejt ki, hogy gátolja a sejtfal kialakításának utolsó lépését, a tetrapeptid és a pentaglicil közötti peptidkötés kialakulását. Ez abban áll, hogy a glikopeptid-transzpeptidáz a D-alanil-enzim közötti átmeneti kötés kialakulását azáltal gátolja, hogy a β -laktám-gyűrű felnyílása közben a penicillin az enzim aktív szerin hidroxilját acilezi, amely kötés stabil, az enzim „öngyilkos” módon reagál a D-Ala-D-Ala természetes szubsztráthoz hasonló penicillinnel. A penicillin megjelenése a második világháború idején évtizedekre meghatározta az antibakteriális szerek előállítását célzó kutatások irányát.



8. ábra. A *Staphylococcus aureus* sejtfalának felépítése



9. ábra. A penicillin szerkezete

A molekuláris genetika kezdete, a DNS mint információhordozó és -tároló molekula

A molekuláris biológia kétségtelenül a molekuláris genetikán belül érte el a leglátványosabb eredményeit. E területen lehet leginkább érezni a különböző tudományterületek művelőinek együttműködését. Jóllehet *Mendel* már 1865-ben felismerte az öröklődés szabályait, ennek ellenére még az 1940-es években is kérdéses volt, hogy mi az örökítőanyag. A fehérjék rendkívül sokoldalú biológiai szerepe szinte sugallta, hogy az örökletes tulajdonságok is ehhez a változatos felépítésű vegyületcsoporthoz kötődnek. Első ízben *Avery* és munkatársai szolgáltatottak kísérleti bizonyítékot arra, hogy a nukleinsavak felelősek az örökletes tulajdonságok átviteléért, amikor is a *Pneumococcus* R variánsát az S variáns izolált DNS-tartalmával transzformálni tudták patogén S formává. Ez a felismerés további lendületet adott a nukleinsavak kutatásához, ezek közül kiemelkedtek *A. Todd* szintetikus vizsgálatai (bázisok, nukleozidok és nukleotidok szintézise) és *Chargaff* analitikai tanulmányai, az úgynevezett „bázisszabály”, de a szerző nem tudta értelmezni az igen precíz adatokat. Ezen adatokat kiegészítve a DNS-ről készített röntgenkristallográfiai paraméterekkel, 1953-ban *Watson* és *Crick* publikálták híres kettősspirál-elméletüket, amely modell egyik napról a másikra magyarázattal szolgált az örökletes tulajdonságokat rögzítő anyag szerkezetére, annak megőrzésére és a reprodukálásában való részvételére. A modell legfontosabb megállapításai a következők:

- Két helikális polinukleotid-lánc egy közös tengely körül ellentétes irányba halad,
- a helixen belül purin- és pirimidinbázisok helyezkednek el, a cukor- és a foszfategységek azokon kívül vannak. A bázisok síkja merőleges a tengelyre.
- A helix átmérője 20 Å. A bázisok egymás fölött 3,4 Å-ös távolságra és 36°-os elfordulással helyezkednek el.
- A két ellentétes irányultságú láncot az azonos síkban lévő bázispárok közötti hidrogénhidak tartják össze. Csak az A-T és a G-C párok kerülhetnek egymással szembe.
- A bázisok sorrendje a lánc mentén tetszőleges. A bázisok szekvenciája hordozza a genetikai információt.
- Szemikonzervatív replikáció biztosítja az örökletes tulajdonságok átvitelét és a pontos másolat létrejöttét.

A modell nagyszerűsége az egyszerűségében van, és két alapvető molekuláris tulajdonságot vesz különösen figyelembe; a molekulák konformációját és a halmozott gyenge kölcsönhatások konformációt biztosító szerepét. *Watson* és *Crick*, *Wilkinsszel* együtt, 1962-ben Nobel díjat kapott. Érdekes megjegyezni, hogy a modern konformációanalízis nagy egyéniségei, *Hassel* és *Barton*, 1969-ben ugyanezen díjban részesültek.

Az 1950-es évek közepétől rendkívül szellemes, de igen egyszerű kísérletek és technikák bizonyították a javasolt modell alkalmazhatóságát. A *Stahl–Meselson*-kísérlet igazolja a replikáció szemikonzervatív tulajdonságát. Fizikusok és kémikusok biztosítják a vizsgálatokhoz az ^{15}N izotópot. A foszfor-32 izotóp használata biztosítja a nukleozid trifoszfátok szintézisével egyidejűleg a DNS és az RNS templát irányította bioszintézisének tanulmányozását és törvényszerűségének feltárását.

Szellemes kémiai (*Khorana*) és biokémiai (*Nirenberg*) kísérletek révén ^{14}C -jelzett aminosavak felhasználásával igen rövid idő alatt megfejtik a DNS-kód-rendszert. Ragyogó kémiai (*Maxam–Gilbert*) és kombinált kémiai-biokémiai (*Sanger*) módszert dolgoznak ki a nukleinsavak szekvenálására. Mindkét metódusnál a radioaktív jelzés és igen alapos szerves kémiai szintetikus háttér előfeltétele az eljárásoknak, az elválasztástechnikai módszerek közül kiemelkedik a gélektroforézis. Gének szintézisére szilárd fázisú eljárást dolgoznak ki. A felsorolt címszavak mögött a kutatók tízezres táborának öt évtizedes zseniális munkája és együttműködése rejlik.

A biomolekulák komplementaritását igen érzékeny blotting- (itatós) technikák kidolgozására használják fel, DNS-DNS, DNS-RNS és fehérje-ellenanyag közötti kölcsönhatások meghatározására. Ismert szekvenciájú szintetikus DNS-darabok lehetővé teszik, hogy kromoszómákon belül komplementer szekvenciák után nyomozzanak.

A minden várakozást meghaladó gyors fejlődés eredményeként jött létre a géntechnológia, ami különböző élőlények genomjával tetszőleges műveletek végzését, tulajdonságok tetszőleges átvitelét, kifejeződését és öröklődését teszi lehetővé. Az utóbbi néhány év klónozási műveletei az evolúció évmilliárdos eredményeit napok alatt változtathatják meg, s nemcsak a kishitűek és az örök kételkedők figyelik megdöbbenéssel az emberi kíváncsiság és a kutatói egoizmus minden határt átlépő vetélkedését. Madách Lucifer szájába adott szavai csak növelik az aggódva figyelők táborát:

„Te nagy konyhádba helyezéd embered,
S elnézed néki, hogy kontárkodik,
Kotyvaszt s magát istennek képzei.
De hogyha elfecséreli s rontja majd
A főztet, akkor gyúlsz késő haragra.”

A gyenge kémiai kölcsönhatások és az elővilág

Századunk elején, 1901-ben egy fiatal bécsi orvos, *Landsteiner*, aki *Emil Fischernél* tanult kémiát, szerológiai vizsgálatai során felfedezte az emberi vércsoportokat. A műtéti beavatkozások során alkalmazott vérátömlesztés e felismerést követően

vált biztonsággal alkalmazható módszerré. Egészen a 60-as évek végéig teljesen ismeretlen volt, hogy milyen antigének felelősek a vércsoport-specifitásért. Ekkor derült ki, hogy az antigének az úgynevezett glikoproteinek/glikolipidek csoportjába tartoznak, s a specifikitást a szénhidrátok határozzák meg. Ma már valamenynyí antigén szerkezetét ismerjük, legtöbbjük szintetikus előállítását is – 1975-től kezdődően – megoldották. E vizsgálatok az elválasztástechnikai módszerek, s főleg az NMR és MS szerkezetvizsgálati eljárások és a modern, elméletileg is megalapozott szintetikus szénhidrátkémiai eredmények kidolgozásának köszönhetőek. A legfontosabb, úgynevezett ABO vércsoport-antigének szerkezetét a táblázat foglalja össze. Ismerjük azokat a biokémiai folyamatokat, amelyek révén e struktúrák létrejönnek, és szolgálják a szervezet integritását. Az emlősök – és ma már feltételezik, hogy valamenynyí élő szervezet – immunrendszerük révén igen nagy specifikitással képesek megkülönböztetni a saját és a nem saját struktúrákat. A saját struktúrák iránt tolerancia alakul ki, a nem saját struktúrák antigénként jelennek meg, és immunválaszt váltanak ki, amelynek végső célja a testidegen anyagoknak a szervezetből történő eltávolítása. E rendkívül bonyolult rendszer működésének megértése ugyancsak a legkülönbözőbb tudományterületek együttműködésének eredményeként jött létre. Az antigén-antitest kölcsönhatás valóban a gyenge kölcsönhatások eredményeként jön létre, ahol az antitest mindig protein, míg antigénként – esetleg hapténként – bármilyen vegyület szerepelhet. Rendkívül specifikus kölcsönhatás alakul ki az antigén és a monoklonális ellenanyagok között, amelyeket a legspecifikusabb „analitikai” eszközöknek tekinthetünk. A különböző tudományterületek kölcsönhatásaként értékelhetjük a katalitikus antitestek szerves kémiai alkalmazását.

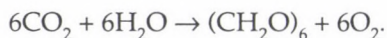
A földi szerves anyagok keletkezésének elsődleges forrása: a fotoszintézis

Érdemes rövid ideig elidőzni a fotoszintézisnél, ez a folyamat a Nap Földre eső sugárzó energiája 3-4%-ának felhasználásával évente 10^{11} tonna szerves anyagot, elsősorban cellulózt és más poliszacharidokat, valamint szacharózt (cukorrépa, cukornád) termel. Ezt a folyamatot a zöld növények és a fotoszintetizáló mikroorganizmusok végzik. A fotoszintézis két fő reakcióból tevődik össze. Az első a *fényreakció*, amely több folyamatot biztosít, így a víz fotokémiai bontásából O_2 -t, ATP-t és redukálóerőt (NADPH) termel. Az utóbbi keletkezését a két fotokémiai rendszer (P680 és P700) biztosítja. A másik reakció a *sötét reakció*, amely, ahogyan ezt elnevezése is jelzi, nem igényel fényt. Ennek alapvető funkciója a szén-dioxid asszimilációja, amelynek eredményeként D-glükóz keletkezik. Az utóbbi folyamat részleteinek felderítése a *Calvin* házaspár nevéhez fűződik. A két reakció vég-

H(O), A, B vércsoport-determinánsok

	1. típusú láncok	2. típusú láncok
Alapváz:	β -D-Galp-(1→3)- β -D-GlcpNAc-(1→GP)	β -D-Galp-(1→4)- β -D-GlcpNAc-(1→GP)
„H”-spec.:	β -D-Galp-(1→3)- β -D-GlcpNAc-(1→GP)	β -D-Galp-(1→4)- β -D-GlcpNAc-(1→GP)
	$\begin{array}{c} \textcircled{2} \\ \uparrow \\ \downarrow \\ \alpha\text{-L-Fucp} \end{array}$	$\begin{array}{c} \textcircled{2} \\ \uparrow \\ \downarrow \\ \alpha\text{-L-Fucp} \end{array}$
„A”-spec.:	α -D-GalpNAc-(1→3)- β -D-Galp-(1→3)- β -D-GlcpNAc-(1→GP)	α -D-GalpNAc-(1→3)- β -D-Galp-(1→4)- β -D-GlcpNAc-(1→GP)
	$\begin{array}{c} \textcircled{2} \\ \uparrow \\ \downarrow \\ \alpha\text{-L-Fucp} \end{array}$	$\begin{array}{c} \textcircled{2} \\ \uparrow \\ \downarrow \\ \alpha\text{-L-Fucp} \end{array}$
„B”-spec.:	α -D-Galp-(1→3)- β -D-Galp-(1→3)- β -D-GlcpNAc-(1→GP)	α -D-Galp-(1→3)- β -D-Galp-(1→4)- β -D-GlcpNAc-(1→GP)
	$\begin{array}{c} \textcircled{2} \\ \uparrow \\ \downarrow \\ \alpha\text{-L-Fucp} \end{array}$	$\begin{array}{c} \textcircled{2} \\ \uparrow \\ \downarrow \\ \alpha\text{-L-Fucp} \end{array}$

eredménye, hogy szén-dioxidból és vízből szénhidrátok keletkeznek, miközben molekuláris oxigén termelődik:



A fotoszintézis legfontosabb alapreakcióinak megértését nagyban elősegíteték a terminális oxidáció és a pentózfoszfát-ciklus tanulmányozása során nyert ismeretek. S itt nemcsak a reakciótípusok hasonlósága, hanem a folyamatok kompartmentalizációja is meglepő azonosságot mutat. A sötét reakció során keletkező cukormolekulák képződését, az egyes lépések egymásutániságát csak nyomjelzéstechnikával sikerült felderíteni. A radioszénnel történő jelzések elsősorban a metabolizmus-utak feltérképezésében játszottak szerepet és nyerne ma is alkalmazást a modern biológiában. A kémikusok a radioaktív atomoknak a vegyületek adott pozícióba történő beépítésére, illetve bioszintézisnél a radioszén (vagy más sugárzó atom) pozíciójának lebontásokkal történő meghatározására dolgoztak ki alkalmas módszereket. A radioaktív jelzéstechnikának a kémiai és biológiai rendszerekbe történő bevezetése számos területen *Hevesy György* nevéhez fűződik, aki 1943-ban nyerte el a Nobel-díjat.

Néhány szóban említést kell tennünk a radioaktív nuklidok *in vivo* orvosi alkalmazásáról is. E széles területen belül is azokról, amelyek képalkotást tesznek lehetővé, elsősorban a pozitronokat kibocsátó magokról. Ezen magok közül a ^{11}C , ^{13}N , ^{15}O és a ^{18}F nyerne alkalmazást a pozitronemissziós tomográfia (PET) területén. A velük jelzett szerves gyógyszerek, ligandok szövet- vagy szervspecifikus felhalmozódása, illetve metabolizmusa követhető alacsony és rövid idejű sugárterhelés mellett. Itt a radiokémikusokra és a szintetikus szerves kémikusokra hárul igen komoly feladat a magok rövid felezési ideje következtében. Az eljárások közül számos a modern gyógyszertervezés elengedhetetlen eszköze.

*

Remélhetőleg a felsorolt példák meggyőzően bizonyítják, hogy a kémia milyen sokoldalú segítséget nyújtott a molekuláris biológia kialakulásához és fejlődéséhez. S nagyon remélem, hogy ezen összehasonlításban követni tudtam azt a gyakorlatot, amelyet egyetemi előadásaim során igyekszem megvalósítani. Nevezetesen, hogy soha nem beszélek tudósokról, csak kutatókról, akik elsősorban nem fizikusok, orvosok, biológusok vagy kémikusok, hanem olyan szakemberek, akik fizikát, orvostudományt, biológiát vagy éppenséggel kémiát tanultak, s ezen tanulmányok alatt szerzett szemléletmóddal közelítették meg a vizsgált folyamatot.

NÁRAY-SZABÓ GÁBOR

Számítási kémia

Bevezetés

Schrödinger az 1920-as években állította fel a kvantummechanika alapegyenletét, melynek ismeretében Dirac kimondhatta, hogy „a kémia matematikai elméletének megalapozásához szükséges törvények ismertek, csak az a nehézség, hogy ezek alkalmazása olyan egyenletekhez vezet, melyek megoldása túl bonyolult”. A számítógépek és a számítási módszerek szédületes fejlődése következtében mára kialakult egy új, 1998 őszén Nobel-díjjal is elismert tudományág, a számítási kémia (angolul: computational chemistry), mely „számítógépes műszer”-ként működik, és a kísérleti technikák kiegészítőjeként, néha azokat helyettesítve pontos, új ismereteket szolgáltat a molekuláris jelenségekről: a molekulák szerkezetéről, a kémiai reakciókról, a biokémiai folyamatokról. Az alábbiakban áttekintjük a számítási kémia legfontosabb módszereit, és példákat mutatunk be a sikeres alkalmazásokra. A számítási kémia segítségével személyi számítógépen, valós időben pontos modelleket szerkeszthetünk, melyek képszerűen jelenítik meg a molekulákat. A kísérletit megközelítő pontossággal határozhatjuk meg kisebb molekulák rezgési színpékét, modellezhetjük szerves kémiai reakciók lefutását valós körülmények között. Lehetőség van arra, hogy leírjuk a kristályok felületén végbemenő folyamatokat, és tanulmányozzuk az enzimek működési mechanizmusát. A számítógépes molekulatervezés a szemünk előtt vonul be a mérnöki munka eszköztárába, ma már széles körben használják új anyagok kifejlesztése során. Hagyományos magas szintű matematikai kultúránknak köszönhetően sok magyar kutató műveli a számítási kémiát, itthon és külföldön dolgozó honfitársaink eredményeit a nemzetközi közvélemény is elismeri [1]. Indokolt tehát, hogy szélesebb körben is megismertessük a szakterület eredményeit és lehetőségeit.

Módszerek

A Schrödinger-egyenlet megoldása tisztán matematikai megközelítéssel kivihetetlen, miután az eredményt néhány ritka kivételtől eltekintve nem zárt képletek,

hanem véges függvénytörzsek alakjában kapjuk meg. A számítási kapacitás határai miatt nem mindegy, hogy hány tagja van ezeknek a soroknak, ezért igen fontos, hogyan választjuk meg a kiindulási próbafüggvényt. A választáshoz pótolhatatlan segítséget kapunk klasszikus kémiai ismereteinkből. Eleve abból indulunk ki, hogy a molekulákban átvihető atomtörzsek vannak, s ezekhez jól definiált függvények rendelhetők. Kihasználjuk a kémiai kötés fogalmát: néhány tucat, kevés atomot tartalmazó építőkockából felépíthetjük a sok millió ismert molekula legtöbbségét. Egyre jobban terjed és nagy sikereket arat az úgynevezett pragmatikus megközelítés a számítási kémiában. Nem azt tekintjük elsőrendűen fontosnak, hogy *ab initio*, a kezdetektől, kizárólag néhány alapvető természeti állandó felhasználásával oldjuk meg egyenleteinket, hanem általánosan ismert, tapasztalati tényeket is felhasználunk a matematikai eljárás leegyszerűsítése érdekében. A megközelítés filozófiája tekintetében a számítási módszereket három nagy csoportra oszthatjuk, ezeket az alábbiakban tárgyaljuk.

Molekulapálya-módszer

Mint ismeretes, a kvantummechanika alapegyenletének megoldásaként kapjuk az atomokból és elektronokból álló molekuláris rendszer hullámfüggvényét, melyből annak valamennyi mérhető tulajdonsága leszármaztatható. Ha a hidrogénatomra kapott, zárt alakú megoldásból indulunk ki, úgynevezett atompályákat szerkeszthetünk, melyeknek az elektronok kicserélhetőségét kifejező Pauli-elvet figyelembe vevő lineáris kombinációjával, determináns alakban állítjuk elő a próbafüggvényt. A keverési együtthatók optimális értékének meghatározásához hatalmas mennyiségű, meglehetősen bonyolult integrált kell kiszámítanunk, ezek felhasználásával nagy mátrixokat szerkesztünk, melyek diagonalizálásával, iterációval kapjuk a megoldást. Jelentős probléma, hogy a legpontosabb, az elektronok egymással korrelált mozgását is figyelembe vevő módszerek számítási igénye a rendszer elektronjai számának ötödik-hatodik hatványával növekszik. Az egyszerűbb, de számos molekula szerkezetének és bizonyos típusú kémiai reakcióknak a pontos leírására még mindig alkalmas Hartree–Fock módszer esetében olyan egyenleteket kell megoldani, melyek az átlagos elektroneloszlásból indulnak ki. Ebben az esetben az elektronszám negyedik hatványától függ a számítási munka.

Az *ab initio* Hartree–Fock módszer [2] jó eredményeket ad több tucat H-, C-, N-, O- és F-atomot tartalmazó, klasszikus kötésekből felépülő molekulák geometriai paramétereire, rezgési színekepeire, konformációs viszonyaira, elektroneloszlására, elektrosztatikus és mágneses tulajdonságaira vonatkozóan. Valamivel csökken, de a számítási munka növelésével még elfogadható marad a pontosság

a harmadik periódus elemeit (Si, P, Cl) tartalmazó molekulák esetében. Ha kötések felszakadásával járó kémiai reakciók energiaviszonyaira, erősen torzult molekulák tulajdonságaira vagy elektrongerjesztési energiákra vagyunk kíváncsiak, illetve a kísérletek ellenőrzése céljából igen pontos adatokra van szükségünk, az elektronok mozgásának korrelációját is figyelembe vevő módszert kell alkalmaznunk. Az ilyen módszerekkel ma már 4-5, kettőnél nagyobb rendszámú atomot tartalmazó molekula is szinte rutinszerűen modellezhető.

30-40 atomnál többet tartalmazó molekulák esetében már igen időigényessé válik az *ab initio* számítás, ezért további egyszerűsítések bevezetésére van szükség. A szemiempirikus módszerek egy része azt használja ki, hogy az egymással kötésben nem lévő atomokon elhelyezkedő pályák szorzata (differenciális átfedés) a tér minden pontjában kicsiny, ezért elhanyagolható. Az egyszerűsítés következtében az elektronok kölcsönhatását meghatározó integrálok száma drasztikusan csökken, ezáltal a számítási munka a molekula elektronjai számának csupán második-harmadik hatványával növekszik. Az elektron-kölcsönhatási integrálok elhanyagolása okoz ugyan hibát a számításban, de ezt a többi integrál és az energiakifejezés empirikus korrekciójával jelentősen csökkenteni lehet. Napjainkban a Dewar által kezdeményezett, illetve kifejlesztett módszerek és paraméter-készletek a legnépszerűbbek, ezeket különböző betűnevekkel jelölik, mint AM1 [3] vagy PM3 [4]. A szemiempirikus módszerekkel akár ezer elektront tartalmazó rendszerekre is végezhetünk számításokat, és ha megbízhatóságuk nem is vetekszik az *ab initio* módszerekével, fontos információt adnak, főként klasszikus molekulák szerkezetére és reakcióképességére vonatkozóan.

Sűrűségfukcionál-módszer [5]

A Schrödinger-egyenletben szereplő hullámfüggvény nem mérhető mennyiség, ugyanakkor tartalmazza a vizsgált rendszer összes elektronjának térkoordinátáit, ami több elektront tartalmazó rendszerek esetében jelentős mértékben nehezíti a megoldást. Az egyszerűsítés egy lehetséges, már az 1930-as években javasolt módja az, ha nem a hullámfüggvényt, hanem a mérhető elektronsűrűséget próbáljuk meghatározni egy közelítő egyenletből. Az egyenlet felállításához jelentős elvi segítséget nyújtott, hogy Walter Kohn bebizonyította: nemcsak a hullámfüggvény, hanem az elektronok sűrűségfüggvénye is egyértelműen meghatározza egy alapállapotban lévő molekuláris rendszer valamennyi tulajdonságát [6, 7]. Az elmúlt harminc évben egyre pontosabb egyenleteket sikerült találni, melyekből meghatározható az elektronsűrűség. Ezek az egyenletek a rendszer elektron-energiájának az atommagok adott elrendezéséhez tartozó minimumát keresik a sűrűség függvényében. Az elektronok energiáját négy tag összegeként állítják

elő, ezek a kinetikus, a Coulomb-féle, a kicserélődési és az elektronkorrelációs járulékok, melyekre igen pontos, illetve egzakt kifejezések ismertek. Miután az alapegyenletben nem szerepel az összes elektron koordinátája, a számítási munka jelentősen csökken.

A sűrűségfukcionál-elmélet mai formájában már vetekszik a molekulapályamódszerrel, esetenként pontossága felül is múlhatja azét [8]. Pontos számítások végezhetők reakcióentalpiák és rezgési erőállandók, ionizációs potenciálok, polarizálhatóságok és más molekuláris paraméterek meghatározására is. Különösen jól használható a módszer tíznél nagyobb rendszámú atomokat tartalmazó rendszerek vizsgálatára, és szinte versenytárs nélkül áll átmeneti fémeket tartalmazó molekulák vagy atomfürtök esetében. Alkalmazása jelentősen fellendítette a heterogén katalízis számítógépes modellezését, ma már rutinszerűen végezhetők számítások platina, palládium vagy más katalizátorfém atomjaiból álló fürtök és a velük kölcsönhatásba lépő kisebb-nagyobb szerves molekulák együtteséből álló rendszerekre.

Molekulamechanika [9]

A molekulamechanika a klasszikus mechanikára épül, nem foglalkozik elektronokkal, kizárólag azon erőket írja le, melyek az atomokra hatnak a molekulán belül. Alapfeltevése, hogy egy molekula közel merev, gömbszerű atomokból áll, és ezeket olyan kötések kapcsolják össze, melyek torzulása (nyújtása, hajlítása, torziója) alkalmas korrekciókkal a klasszikus mechanika törvényeit követi. A kötésben lévő atomok kölcsönhatásai mellett figyelembe veszi a nem kötő kölcsönhatásokat is, ezek főként a nem kovalens molekulatársulások (hidrogénhidas rendszerek, Van der Waals-komplexek) esetében játszanak meghatározó szerepet. Az atomok és a kötések viselkedését leíró kifejezések paraméterei hasonló molekulák között átvihetők, ezért egy adott molekulacsoportra meghatározott paraméterkészlet használható a csoportba nem tartozó, de ahhoz hasonló molekulákra is. Miután az energiatagokra igen egyszerű matematikai kifejezéseket használnak, a számítási munka nagyságrendekkel csökken a molekulapályavagy sűrűségfukcionál-módszerekhez képest.

A fenti paraméterkészlet meghatározása jelenti a molekulamechanika egyik legfontosabb problémáját. Az irodalomban számos ilyen készlet (erőtér) ismert, ezek általában különböznek, aszerint, hogy milyen rendszerekre fejlesztették ki őket. Így külön erőtereket alkalmaznak kis szerves molekulákra, fehérjékre, nukleinsavakra, szervesetlen kondenzált fázisokra és más rendszerekre. Újabban a paramétereket igen pontos molekulapályaszámításokkal kapott adatokhoz (kötéshosszak, kötésszögek, torziós energiagátak, rezgési erőállandók, elektro-

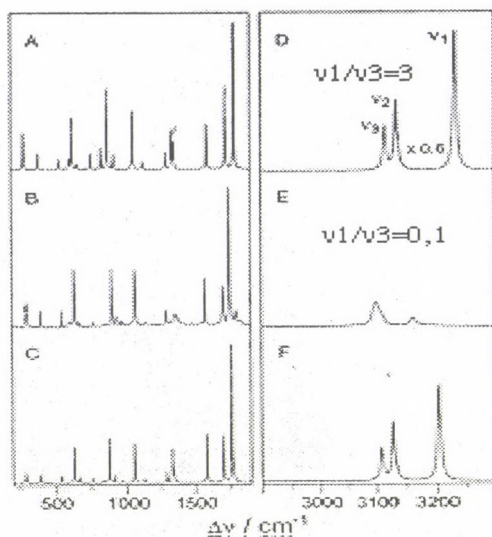
sztatikus potenciálok) illesztik, ezáltal kiküszöbölhető a kísérleti adatok meghatározása során elkerülhetetlenül megjelenő környezeti és egyéb tényezők (kristálytér, hőmérséklet, zéruspontrezgések) torzító hatása. Ezek az erőkterek alkalmasság a kísérletivel megegyező pontosság elérésére olyan kisebb molekulák esetében, melyek szerkezete közel áll az erőtér meghatározásához felhasznált modellekéhez. Miután a számítási munka csak az atomok számának második hatványával nő, és az energiatagok matematikai alakja rendkívül egyszerű, több, akár tízezer atomot tartalmazó fehérje- vagy folyadékmmodellek is vizsgálhatók. A gyorsaság lehetővé teszi a klasszikus mechanika alapjain álló molekuladinamikai egyenletek megoldását, miáltal sokszor mással nem pótolható információt kaphatunk bizonyos molekuláris folyamatok időbeli lefolyásáról. Ilyen például kis molekulák folyadékfázisban lejátszódó konformáció-változása, a fehérjék dinamikája vagy valamely, fázisok határfelületén lejátszódó folyamat. A molekulamechanika kiváló segítőtársa a számítógépes molekulagrafikának is. A kémiai kötések felépítése egyszerű szabályainak felhasználásával, a számítógép memóriájában tárolt molekuláris építőkövek felhasználásával könnyen összerakhatjuk a képernyőn egy többé-kevésbé bonyolult molekula durva modelljét, melynek pontos alakját molekulamechanikai számítással határozhatjuk meg, hogy ezáltal szinte valós időben pontos információt kapjunk róla.

Alkalmazások

Ma már alig van olyan szűkebb területe a molekuláris kémiának, ahol ne alkalmaznák a számítási kémiát modellek építésére, kísérleti adatok értelmezésére, kiegészítésére vagy éppen pótlására. Az alábbiakban olyan példákat mutatunk be, melyek egy kivételével a *Journal of Physical Chemistry* 1999 januárja és márciusa között megjelent számaiból származnak. Az alkalmazások sokoldalúsága és a kapott eredmények megbízhatósága mutatja a módszer teljesítőképességét, ugyanakkor következtethetünk egyre növekvő népszerűségére is. Világosan látszik, hogy a számítási kémiával nemcsak a vegyészek, hanem a szerkezeti biológusok, gyógyszerkutatók, anyagtudománnyal és más, szűkebb szakterülettel foglalkozó szakemberek is igen hasznos eszközt kaptak a kezükbe, amely modellek szerkesztésével vagy akár mérőműszerként fontos felvilágosítást nyújt a molekulák tulajdonságairól, átalakulásaik jellegzetességeiről.

Spektroszkópia

A molekulák rezgési színeképének kiszámítására elsőként Pulay Péter dolgozta ki híres erő-módszerét [10], melyre alapozva később újabb eljárásokat fejlesztettek ki.



1. ábra. Maleimid dimer sűrűségfucionál-módszerrel számított (A, D: 6-31G* bázissal, C, F: 6-31++G* bázissal) és kísérleti (B, E) Raman-színképe

Egyre nagyobb rendszerekre lehet elvégezni a számításokat, és megfelelő empirikus korrekciókkal jól visszaadhatók a kísérleti színképek. Egy példa a maleimid dimer-jének Raman-színképe, melyet az 1. ábrán láthatunk [11]. A sűrűségfucionál-módszerrel kapott adatok a 300–1800 cm^{-1} intervallumban jól közelítik a kísérletileg meghatározott sávok helyét és intenzitását. Nem jó viszont az egyezés a magasabb frekvenciatarományba eső NH (ν_1) és CH (ν_3) vegyértékrezgés esetében (lásd a D, E és F színképeket az 1. ábra jobb oldalán). Az NH rezgés helye, az NH és CH rezgésekhez tartozó sávok intenzitásának aránya jelentősen eltér a kísérletitől.

Egy másik példa a mágneses magrezonancia-spektroszkópiából származik [12]. A molekulapálya-módszerrel kiszámították a porfirinbázis, illetve magnéziummal, valamint cinkkel képezett komplexének kémiai eltolódásait. Az 1. táblázatban látható, hogy jó az egyezés a kísérleti adatokkal, ennek alapján a számítások a színkép hozzárendeléséhez is segítséget nyújtanak, sőt arra is megbízható választ adnak, hogyan függ a kémiai eltolódás a fémoon kimozdulásától a porfirinyűrű síkjából. A számítás tehát segíti a mérések kiértékelését, így arra is választ kaphatunk, hogyan torzul a sík alkatú porfirinyűrű a különböző fehérjékben, ami a jelenleg ismert kísérleti technikák segítségével nem könnyű. A számításokat összevetve a kísérleti színképpel, azt is valószínűsítették, hogy a porfirin magnéziummal alkotott komplexe a fématomon két oldószer-molekulát (vizet vagy tetrahidro-furánt) köt meg.

A szabad porfirinbázis (H_2P) és magnéziummal, valamint cinkkel képezett komplexének számított és mért kémiai eltolódásai tetrametilszilán referenciához viszonyítva (ppm)

Atom	H_2P		MgP		ZnP	
	számított	kísérleti	számított	kísérleti	számított	kísérleti
H(-N)	- 8,25	- 3,91	-	-	-	-
H_β	10,72	9,57	10,83	9,45	10,81	9,54
Hmezo	11,44	10,43	11,52	10,24	11,49	10,34
C_α	155,15	147,16	159,46	151,16	159,44	151,84
C_β	141,24	133,56	142,69	133,75	142,43	133,95
C_{mezo}	108,30	106,03	110,78	106,91	110,32	106,50

Nehezebb problémát jelent az elektronszínképek kiszámítása elméleti módszerekkel. Mivel a legtöbb esetben a megfelelő pontosság eléréséhez szükség van az elektronkorreláció figyelembevételére is, igazán pontos számításokra csak kis, legfeljebb 3-4, kettőnél nagyobb rendszámú atomot tartalmazó molekulák esetében van lehetőség.

Kémiai reakciók

A kémiai átalakulások reakcióhőjének elméleti kiszámításánál nagy problémát jelent, hogy a reakcióban részt vevő molekulák összes energiájánál több nagyságrenddel kisebb mennyiségekről van szó. A nagy számok kis különbségeként kapott reakcióhők meghatározásához tehát igen pontos számításokra van szükség, a legtöbb esetben figyelembe kell venni az elektronkorrelációt, ami jelentős mértékben megnöveli a számítási munkát. A jelenleg elérhető nagy teljesítményű számítógépek és kifinomult módszerek azonban pontos eredményekhez vezetnek.

A 2. táblázatban látható néhány hat szénatomot tartalmazó szénhidrogén számított és kísérletileg meghatározott képződési entalpiája. Az eltérés alig esik kívül a hibahatáron, ez a pontosság már ilyen méretű molekulák esetében megszokott. Nem meglepő tehát, hogy az USA Szabványügyi Hivatalában mérés helyett sokszor számítással határozzák meg a képződési entalpiákat, mert ez a módszer egy nagyságrenddel olcsóbb, ugyanakkor pontossága megközelíti a kísérleti módszerekét.

Egy másik munkában F-O kötést tartalmazó kis molekulák részvételével lejátszódó reakciókat tanulmányoztak molekulapálya- és sűrűségfunkcionál-mód-

2. táblázat

Hat szénatomot tartalmazó szénhidrogén-molekulák számított és kísérletileg meghatározott képződési entalpiája (kJ mol⁻¹) [13]

Vegyület	Számított	Kísérleti	Vegyület	Számított	Kísérleti
benzol	88,7	82,5±0,8	ciklohexa-1,4-dién	113,0	108,8±0,8
ciklohexén	- 2,0	- 5,0±0,8	biciklo[2,2,0]hex-2-én	260,4	257,4±0,8
ciklohexán	- 122,2	123,5±0,8	biciklo[2,2,0]hexán	128,1	124,7±0,8
benzvalén	386,8	365,0	biciklo[3,1,0]hexán	51,9	38,5±0,8
ciklohexa-1,3-dién	110,9	106,3±0,8	3,3'-biciklopropil	136,0	129,3±3,6

szerekkel, figyelembe véve az elektronkorrelációt is (lásd 3. táblázat). A szerzők tapasztalata szerint az utóbbi módszer pontosabb eredményeket szolgáltat, mint a csatoltcsoport- (coupled cluster) elmélet, melyet sokáig a legjobbnak tekintettek. Ez azért különösen érdekes, mert a fluor-oxigén kötést tartalmazó vegyületek pontos kvantumkémiai leírása hosszú ideig nagy problémát jelentett, ez mára a jelek szerint megoldódott.

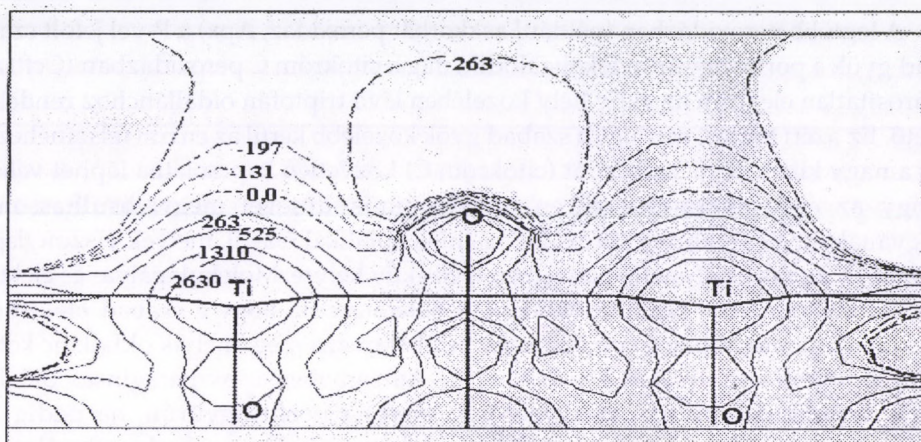
Felületi jelenségek

A számítási kémia újabban egyre sikeresebb a kristály-gáz határfelületeken lejátszódó folyamatok (adszorpció, kemisorpció, heterogén katalízis) modellezésében. *Ab initio* molekulapálya- és molekuladinamikai módszerek kombinációjával vizsgálták a káliumatomok adszorpcióját a rutil (110) felületén, és megállapították,

3. táblázat

Néhány F-O kötést tartalmazó molekula között lejátszódó reakció sűrűség-funkcionál-módszerrel számított és kísérleti entalpiája (kJ mol⁻¹) [8]

Reakció	Számított	Kísérleti
FOH + OH → FO + HOH	- 85,69	- 86,90
FOF + OH → FO + FOH	- 40,73	- 39,93
FOO + OH → FO + HOO	46,72	51,03
FOO + OH → OO + FOH	- 150,65	- 149,15
FOH + FOO → FOF + HOO	87,45	90,42
FO + HOH → FOH + HO	132,40	137,38

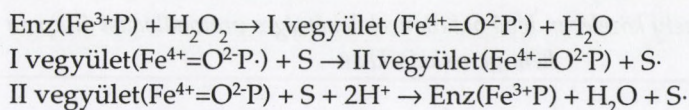


2. ábra. Elektrosztatikus potenciáltérkép a rutil (110) felületére merőleges síkban (kJ mol^{-1}) ab initio molekulapálya-számítások alapján

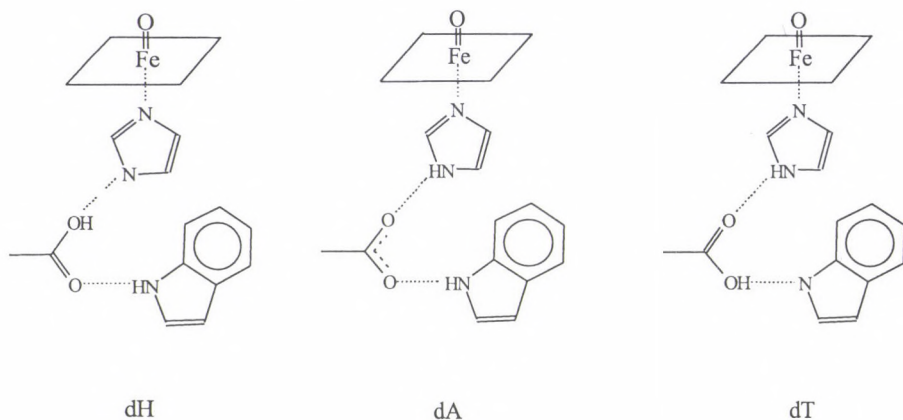
hogy a folyamatot döntő mértékben elektrosztatikus erők befolyásolják, ugyanis az atomok a felülethez közeledve ionizálódnak [14]. A pozitív töltésű káliumionok a felületből kissé kinyúló oxigénatomok környezetében kötődnek meg, mert a felület elektrosztatikus potenciálja itt viszonylag nagy negatív értéket vesz fel (2. ábra). Molekuladinamikai szimulációval meghatározták a káliumionok elrendeződését, és azt találták, hogy a maximális borítottság körülbelül 4×10^{14} káliumatom négyzetcentiméterenként, ami összhangban van a kísérleti értékkel.

Enzimmechanizmusok

A számítási kémia ma már alkalmas igen bonyolult rendszerek, például több ezer atomot tartalmazó enzimek viszonylag pontos modellezésére is. Erre példa annak a vizsgálata, hogy hol lokalizálódik a szabad gyök hém peroxidázok aktív helyén, ami fontos ismeret az enzimreakció mechanizmusának megértéséhez. A hém peroxidázok a hidrogén-peroxid lebontását végzik élő szervezetekben, és a reakció során keletkező átmeneti komplex viszonylag stabilis, kísérletileg is megfigyelhető. A reakció kételektronos oxidáció, melynek során egy ferriloxi $[\text{Fe(IV)=O}]$ -csoportot tartalmazó, úgynevezett I vegyület keletkezik, egy szerves gyök kíséretében. Ez a vegyület továbbadja elektronját a szubsztrátnak, majd visszaáll az eredeti állapot:



A legtöbb peroxidázban (például aszkorbát peroxidáz, Apx) a P-vel jelölt szabad gyök a porfiringyűrűn lokalizálódik, míg a citokróm C peroxidázban (CcP) a párosítatlan elektron az aktív hely közelében lévő triptofán oldallánchoz rendelhető. Ez azért fontos, mert így a szabad gyök közelebb kerül az enzim felszínéhez, és a nagy kiterjedésű szubsztrát (citokróm C) közvetlen kapcsolatba léphet vele, hogy az elektronátmenet az enzim közreműködésével megvalósulhasson. Ugyanakkor az aszkorbát peroxidáz kis molekulákkal reagál, melyek viszonylag könnyen jutnak el az enzim belsejében lévő aktív helyre. Molekulapálya- és elektrosztatikuspotenciál-számítások alapján feltételezzük, hogy a szabad elektron helyzetét (pontosabban a spinsűrűséget) az határozza meg, melyik oldallánc köti meg a protont az aktív hely közelében [15]. Amennyiben az aszparaginsav oldallánc deprotonálódik (dA szerkezet a 3. ábrán) a porfiringyűrűn, ha pedig a triptofán oldallánc veszt el a protonját, ezen lokalizálódik a szabad gyök. *Ab initio* molekulapálya-számításaink szerint a dH szerkezet energiája igen nagy, ezért kialakulása valószínűtlen, ugyanakkor a környezet elektrosztatikus tere a CcP-ben a dT, az Apx-ben viszont a dA szerkezetet stabilizálja (4. táblázat). A dT szerkezetben a párosítatlan spinű elektron a triptofánon, a dA szerkezetben pedig a hémen lokalizálódik. Ezzel magyarázható, hogy az egyébként igen hasonló szerkezetű enzimekben miért más a spinsűrűség eloszlása. Megállapításaink összhangban vannak a kísérleti eredményekkel, ezért feltételezhető, hogy a proton helyzetének szerepére vonatkozó megállapításunk is megállja a helyét. Ez azért is érdekes, mert utóbbival kapcsolatban nincs egyértelmű kísérleti bizonyíték.



3. ábra. Az aktív hely közelében lévő oldalláncok lehetséges protonálódási állapota hém peroxidázokban

Ab initio molekulapálya-módszerrel számított spinsűrűségek a CcP és az Apx aktív helyén. dA és dT a 3. ábrára utaló jelölések, mellettük zárójelben látható az adott szerkezet elektrosztatikus stabilizációs energiája a fehérjében (kJ mol⁻¹)

Molekularészlet	CcP		Apx	
	dA(-78,8)	dT(-111,1)	dA(-97,5)	dT(-97)
Fe=O	3,10	2,05	1,73	1,99
porfirin	- 0,07	- 0,11	1,30	0,04
triptofán	0,00	1,05	0,00	1,03

Számítógépes molekulatervezés

A számítógépes modellek egyre növekvő precizitása az 1990-es évtizedben oda vezetett, hogy lehetővé vált különböző, meghatározott tulajdonságokkal bíró molekulák, illetve nem kovalens kötésekkel összetartott molekuláris rendszerek (gyógyszerek, polimerek, katalizátorok) racionális tervezése is. Már többéves múltra tekinthet vissza egy folyóirat, a *Journal of Computer-Aided Molecular Design* az ESCOM Science Publishers kiadásában, melyben főleg új gyógyszerek tervezésére vonatkozó közlemények jelennek meg. 1993 adja ki ugyanez a kiadó a *Journal of Computer-Aided Materials Design* is, ebben elsősorban új anyagokkal foglalkoznak. Ma már szinte valamennyi multinacionális vegyipari konszern, elsősorban azok, melyek gyógyszergyártással foglalkoznak, működtet kisebb-nagyobb molekulatervező egységeket. Több gyógyszer kifejlesztésénél alkalmazták a számítógépes tervezési módszereket, ezekről Boyd írt összefoglalót [16].

Az alábbiakban egy érdekes közleményt ismertetünk, melyben a maleinimid és 1-alkének között lejátszódó reakció egy katalizátorát tervezték meg a számítási kémia segítségével [17]. Először szemiempirikus módszerrel modellezték a reakció átmeneti komplexét, majd ehhez a modellhez a CoMFA nevű molekulatervezési módszerrel illesztettek különböző analógokat. Találtak egy molekulát, mely igen hasonló az 1-butén és a maleinimid között lejátszódó reakció átmeneti komplexéhez, ezt preparatív szerves kémiai módszerekkel előállították, és kristályos fázisban röntgendiffrakcióval a szerkezetét is meghatározták. Számítógépes grafika segítségével illesztették a szintetizált molekulát az átmeneti komplexhez, és igen jó egyezést találtak. Ebből arra következtethetünk, hogy az átmeneti komplex analógja haptén gyanánt alkalmazható az antitest-katalízisben, ami azt jelenti, hogy megfelelő molekuláris biológiai módszerekkel olyan antitest-molekulák állíthatók elő, melyek a hapténhez jól illeszkednek, azzal viszonylag stabi-

lis komplexet képeznek. Az antitest-molekulák hapténnel komplementer üregei a hasonlóság miatt az átmeneti komplexet is képesek megkötni, ezáltal felgyorsítják a reakciót, éppúgy katalizátorként viselkednek, mint az enzimek.

Irodalom

1. Náray-Szabó G.: A magyar elméleti kémia. *Magy. Kém. Folyóirat*, 100 (1994), 193.
2. Hehre, W. J. – Radom, L. – Schleyer, P. v. R. – Pople, J. A.: *Ab Initio Molecular Orbital Theory*. Wiley, New York, 1986.
3. Dewar, M. J. S. – Zebisch, E. G. – Healy, E. F.: AM1: A New General Purpose Quantum Mechanical Molecular Model, *J. Am. Chem. Soc.*, 107 (1985), 3902.
4. Stewart, J. J. P.: Semiempirical Molecular Orbital Methods. *Rev. Comput. Chem.*, 3 (1991), 45.
5. Labanowski, J. K. – Andzelm, J. W.: *Density Functional Methods in Chemistry*. Springer-Verlag, New York, 1991.
6. Hohenberg, P. – Kohn, W.: Inhomogeneous Electron Gas. *Phys. Rev. B*, 136 (1964), 864.
7. Kohn, W. – Sham, L. J.: Self-Consistent Equations Including Exchange and Correlation Effects. *Phys. Rev. A*, 140 (1965), 1133.
8. Ventura, O. N. – Kieninger, M. – Cachau, R. E.: Density Functional Theory Is More Accurate Than Coupled-Cluster Theory in the Study of the Thermochemistry of Species Containing the F-O Bond. *J. Phys. Chem.*, 103 (1999), 147.
9. Keserű G., Náray-Szabó G.: Molekulamechanika. *A kémia újabb eredményei*, 80 (1995), 7.
10. Pulay, P.: Ab Initio Calculation of Force Constants and Equilibrium Geometries in Polyatomic Molecules. I. Theory. *Mol. Phys.*, 17 (1969), 197.
11. Magdó, I. – Németh, K. – Mark, F. – Hildebrandt, P. – Schaffner, K.: Calculation of Vibrational Spectra of Linear Tetrapyrroles. 1. Global Sets of Scaling Factors for Force Fields Derived by ab Initio and Density Functional Theory Methods. *J. Phys. Chem.*, 103 (1999), 289.
12. Kozłowski, P. M. – Wolinski, K. – Pulay, P. – Ye, B. H. – Li, X. Y.: GIAO Nuclear Magnetic Shielding Tensors in Free Base Porphyrin and in Magnesium and Zinc Metalloporphyrins. *J. Phys. Chem.*, 103 (1999), 420.
13. Li, Z. – Rogers, D. W. – McLafferty, F. J. – Mandziuk, M. – Podosenin, A. Y.: Ab Initio Calculations of Enthalpies of Hydrogenation, Isomerization, and Formation of Cyclic C₆ Hydrocarbons. Benzene Isomers. *J. Phys. Chem.*, 103 (1999), 426.
14. Calzado, C. J. – San Miguel, M. A. – Sanz, J. F.: Theoretical Analysis of K Adsorption on TiO₂(110), Rutile Surface. *J. Phys. Chem.*, 103 (1999), 480.
15. Menyhárd, D. K. – Náray-Szabó, G.: Electrostatic Effect on Electron Transfer at the Active Site of Heme Peroxidases: A Comparative Molecular Orbital Study on Cytochrome C Peroxidase and Ascorbate Peroxidase. *J. Phys. Chem.*, 103 (1999), 227.
16. Boyd, D. B.: Successes of Computer-Assisted Molecular Design. *Rev. Comput. Chem.*, 1 (1990), 355.
17. Yliniemelä, A. – Konschín, H. – Neagu, C. – Pajunen, A. – Hase, T. – Brunov, G. – Telemán, O.: Design and Synthesis of a Transition-State Analog for the Ene Reaction between Maleimide and 1-Alkenes. *J. Am. Chem. Soc.*, 117 (1995), 5120.

FURKA ÁRPÁD

Kombinatorikus kémia

Bevezetés

A szerves kémiai kutatásban az új vegyületek előállításának mindig is nagy jelentősége volt. Ezekből a vegyületekből lettek aztán gyógyszerek, színezékek, íz-, aroma- és illatanyagok, valamint egyéb, a gyakorlati életben felhasználható termékek. Ezen vegyületek előállításának hagyományos módja az egyenkénti szintézis volt. Az 1980-as évek derekától kezdve azonban olyan szintézismódszerek jelentek meg [1]–[3], amelyek a hagyományos gyakorlatot gyökeresen megváltoztatták, és forradalmi átalakulást idéztek elő a gyógyszerkutatásban és más kutatási ágazatokban. Ezek a módszerek alkalmasak arra, hogy egyetlen folyamatban egy sokkomponensű vegyülettárat (libraryt) állíthassunk elő, amely akár több ezer vagy több millió vegyületet tartalmazhat. Ezek a vegyületek együttesen valamely vegyülettípus összes olyan szerkezeti variációját képviselik, amelyek a szintézis során felhasznált kiindulási anyagokból elméletileg levezethetők. Ezek a módszerek alkotják a tulajdonképpeni kombinatorikus kémiát. Ezekhez még hozzáértjük azonban az egyedi vegyületek sorozataiból álló vegyülettárak – többnyire automatizált – előállításának módszereit (paralel szintézis) és peptidtárak előállításának biológiai módszereit. A kombinatorikus kémia kialakulásában meghatározó szerepet játszott az Eötvös Loránd Tudományegyetem Szerves Kémiai Tanszékén kifejlesztett úgynevezett megosztásos-keveréses (portioning-mixing, split-mix) szintézismódszer.

Előzmények

Az 1988-ban publikált módszer gyökerei visszanyúlnak 1966-ig, amikor kanadai tanulmányutamról Budapestre visszatérve, kíváncsi lettem arra, hogy vajon hány lehetséges szekvencia közül választottunk akkor, amikor kísérleti úton meghatároztuk a 245 aminosavrészből álló fehérje, a kimotripszinogén-B aminosav-sorrendjét. A lehetséges szekvenciák számát (N) egy egyszerű képlet adja meg.

$$N = 20^{245} = 5,65 \times 10^{318}$$

Az eredmény kétségtelenül nagy számnak tűnt, de igazán akkor döbbsen meg, amikor kiderítettem, hogy ha a világegyetem becsült teljes anyagmennyiségét át tudnánk alakítani 245 aminosavrészt tartalmazó fehérjemolekulákká, akkor az így létrejövő fehérjetárban, amelyben minden szekvencia csupán egyetlen molekula révén lenne képviselve, a lehetséges szekvenciáknak csak kis töredéke lenne jelen. Azt, hogy milyen óriási lehet a molekuladiverzitás, jól érzékelteti az is, ha a fenti számot a belátható világegyetemben előforduló elemi részek becsült számához viszonyítjuk [4], ami 10^{88} .

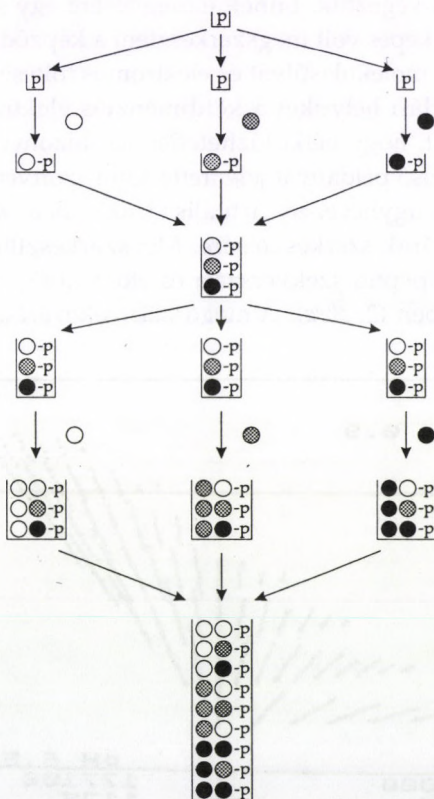
Az 1980-as évek elején, amikor peptidek izolálásával és szintézisével foglalkoztunk, a lehetséges peptidszekvenciák számát számítottam ki ugyanazzal a képlettel (20^n), ahol n a tagszámot jelenti. A következő számsorozat jött ki: dipeptidek 400, tripeptidek 8000, tetrapeptidek 160 000, pentapeptidek 5 200 000, hexapeptidek 64 000 000. Csábító feladatnak tűnhetett ezek előállítása, de egy egyszerű kalkuláció azt mutatta, hogy az akkori legjobb módszerek felhasználásával még a tetra- vagy pentapeptidek előállításához is több évezredre lett volna szükség. A megoldások keresése közben először annak lehetősége merült fel, hogy a szilárd fázisú peptidszintézis kapcsolási reakciójában az egyetlen aminosavat a 20 aminosav keverékével helyettesítsük. Várható volt, hogy egy ilyen szintézis során elméletileg egy olyan keveréknek kellene keletkeznie, amelyben minden lehetséges szekvencia képviselve van. Világos volt azonban az is, hogy az aminosavak eltérő reaktivitása miatt a komponensek rendkívül eltérő moláris mennyiségben keletkeznének, sőt, számosan bizonyára hiányoznának is a keverékből. Ezért ezt a megoldást elvettem, de Geysen és munkatársai tőlünk függetlenül megvalósították és publikálták [1]. Nem volt felesleges azonban tovább gondolkozni a problémán, mert hamarosan megszületett az ötlet arra, hogyan lehet az aminosavak eltérő reaktivitásából adódó problémát kiküszöbölni. Ez azonban még nem volt elég. Egy olyan stratégiát is ki kellett elméletileg dolgozni, amelyet követve egy ilyen sokkomponensű keverékből azonosítani lehet a biológiailag aktív peptidet. Ez is hamarosan sikerült, és 1982 tavaszán hozzá lehetett volna kezdeni a megvalósításhoz. Kiderült azonban, hogy ez a munkatársaimon kívül senkinek az érdeklődését nem keltette fel. Sem a gyógyszeriparét, sem a lehetséges biológus partnerekét. Abban az időben keverékek használatát emlegetni is eretnességnek tűnt. Ezért aztán egyik gyógyszergyár szabadalmi ügyvivője azt javasolta, hogy ha a módszer tényleg olyan jelentőssé válhat, ahogyan azt én gondolom, későbbi elsőbbségi viták megelőzése céljából célszerű volna, ha az új módszer elméletét leírnám és közjegyzővel láttamoztatnám. Megtettem, és ez a lépés nem bizonyult feleslegesnek. Ez a szöveg az első olyan hiteles dokumentum, amelyben a kombinatorikus kémia elvei vannak kifejtve. Az eredeti magyar nyelvű szöveg és annak angolra fordított változata jelenleg hozzáférhető az interneten [6].

A megosztásos-keveréses szintézis

A szintézis a Merrifield-féle szilárd fázisú eljáráson [5] alapul. Annak a kapcsolási ciklusát a következő három egyszerű művelettel helyettesítettük (1. ábra):

- A szilárd hordozó elosztása annyi egyenlő adagra, ahány aminosavat szándékozunk használni a peptidtár felépítésében az adott kapcsolási pozícióban.
- Mindegyik adaghoz más-más aminosavat kapcsolunk.
- Kapcsolás után az összes adagot egyesítjük és alaposan összekeverjük.

A fenti műveletsorozatot addig kell ismételni, amíg a peptidek el nem érik a kellő hosszúságot. Ez a kísérleti elrendezés teljes mértékben kiküszöböli azt a



1. ábra. A megosztásos-keveréses szintézis folyamatábrája.

P: szilárd hordozó; fehér, szürke,

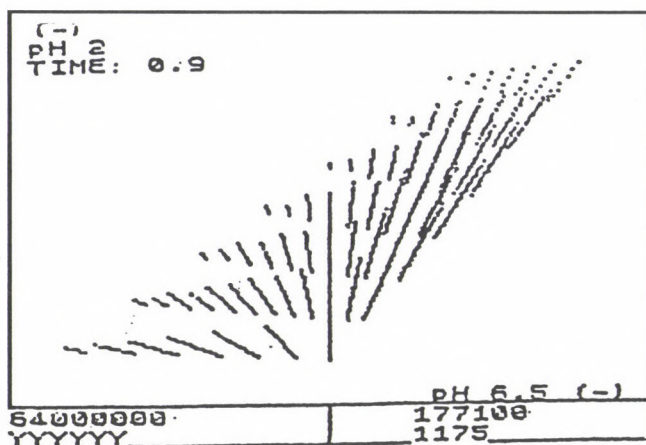
és fekete köröcskék: különböző aminosavak vagy más monomerek;

széttartó nyilak: megosztás; függőleges nyilak: kapcsolás;

összetartó nyilak: adagok egyesítése és keverése

problémát, ami az aminosavak eltérő reaktivitásából adódik. Mivel a kapcsolási reakciók térben elkülönítetten történnek, csupán egyetlen aminosav jelenlétében, az aminosavak közötti versenyfutás lehetősége kizárt. Teljes mértékben ki lehet használni a szilárd fázisú szintézis előnyeit. Az aminosavakat és a kapcsoláshoz szükséges reagenseket nagy fölöslegben lehet alkalmazni, a kapcsolásokat többször is meg lehet ismételni annak érdekében, hogy mindegyik aminosav kapcsolási reakciója a lehető legteljesebb mértékben lejátszódjék.

A peptidtárak szintéziséhez egy egyszerű manuális készüléket használtunk [7]. Viszonylag kis (9–180 komponensszámú) táraikat készítettünk annak érdekében, hogy a képződött peptideket azonosítani tudjuk. Az azonosítást nagyfeszültségű papír-elektroforézissel végeztük. Ennek elősegítésére egy számítógépprogramot is készítettünk, amely képes volt megszerkeszteni a képződött peptidek szekvenciáit, kiszámítani azok molekulasúlyát és elektromos töltését különböző pufferekben, valamint vándorlási helyüket a kétdimenziós elektroforetogramokon [8]. Ez a program, amellet, hogy nélkülözhetetlennek bizonyult a peptidkeverékek analízisében, egyben első példányát jelentette azon szoftvereknek, amelyeket ma elterjedten használnak úgynevezett virtuális (azaz csak a számítógép memóriájában létező) vegyülettárak szerkesztésére. Megszerkeszthető volt vele például mind a 64 millió hexapeptid szekvenciája és előfordulási helye a kétdimenziós elektroforetikus térképen (2. ábra). A megosztásos-keveréses módszert 1988-ban



2. ábra. A 64 millió hexapeptid számított, kétdimenziós, papír-elektroforetikus térképe.

Vízszintes dimenzió: pH 6,5; függőleges dimenzió: pH 2;

YYYYYY: az utoljára szerkesztett szekvencia;

177100: az egymástól különböző aminosav-összetételek száma;

1175: az egymástól eltérő vándorlási helyek száma

publikáltuk két nemzetközi kongresszuson [2], [9], majd 1991-ben egy folyóiratban [10]. A módszer gyorsan elterjedt az egész világon, és ma is széleskörűen alkalmazzák. Már a korai időszakban is két vállalatot is alapítottak a felhasználására: a Selectide-t Arizonában és a mai Trega elődjét Kaliforniában.

A módszer előnyös sajátosságai

A megosztásos-keveréses módszernek van néhány olyan sajátossága, amely magyarázza széles körű használatát és népszerűségét.

Kivételesen nagy hatékonyság

A módszer rendkívül hatékony. Alkalmazása révén több vegyületet lehet előállítani egy hét alatt, mint ahány vegyület a szerves kémia egész korábbi története alatt készült. Ezt arra lehet visszavezetni, hogy amíg a különböző tagszámú (n) peptidtárak szintéziséhez befektetendő munka, amelyet az elvégzett kapcsolási ciklusok számával (C) lehet jellemezni, csak lineárisan nő a tagszámmal, addig a peptidek számának (N) növekedése exponenciális.

$$C = 20n$$

$$N = 20^n$$

Ezt juttatják kifejezésre az 1. táblázat adatai amelyekből azt olvashatjuk ki, hogy hány nap szükséges különböző tagszámú peptidtárak manuális szintéziséhez, ha minden lépésben 20 aminosavból építkezünk.

Az eljárás manuális változatait, éppen annak nagy hatékonysága miatt, ma is elterjedten alkalmazzák. Ennek ellenére kifejlesztettek automatikus készülékeket

1. táblázat

**Peptidek száma a különböző tagszámú peptidtárakban
és az előállításukhoz szükséges napok száma**

Tagszám	Ciklusszám	Peptidszám	Napok száma
2	40	400	2
3	60	8000	3
4	80	160 000	4
5	100	3 200 000	5
6	120	64 000 000	6

is [11], [12], amelyek közül az egyik jelenleg a kereskedelmi forgalomban is hozzáférhető. Az amerikai Advanced ChemTech készüléke, a 357 FBS, minden műveletet, beleértve a hordozó műgyanta szétosztását a reakcióedényekbe, majd visszahordását a keverőedénybe, automatikusan végzi, számítógép irányításával.

Az előállítani kívánt vegyületek közel egyenlő mólarányban történő képződése

A képződő vegyületek 1:1-es mólaránya, ami a hatásvizsgálatok eredményessége szempontjából nagyon fontos, annak a következménye, hogy a kapcsolási reakciók előtt a szilárd hordozót egyenlő részletekre osztjuk. A termékarányt azonban néhány körülmény befolyásolhatja. Ezek egyike az, amikor a kapcsolási reakciók némelyikének a hozama rossz, annak ellenére, hogy a reagenseket főlegben alkalmazzuk. Ez ellen csak az lehet a segítség, ha csak megfelelően optimalizált reakciókat használunk a szintézis során. Egy másik figyelembe veendő körülmény az, hogy a eljárás két alapvető művelete, a keverés és a mintavétel, a statisztika törvényeinek van alávetve. Ennek hatása annál kevésbé érződik a mólarányon, minél többszörösen haladja meg a szilárd hordozó szemcséinek száma az előállítani kívánt vegyületek számát.

Az összes lehetséges szekvenciakombináció képződése

Nagy előnye eljárásunknak, hogy annak egyszerű végrehajtása után számíthatunk arra – ha helyesen kiválasztott reakciókat alkalmazunk –, hogy a szintézis során felhasznált aminosavakból vagy más monomerekből levezethető összes szerkezeti variáns létrejön. Ezt szemlélteti az 1. ábra is. Ez az eljárás tehát megtestesíti azt az elvet, amelyen a kombinatorikus kémia alapul, és amelytől a nevét is kapta.

Egyetlen vegyület képződése mindegyik szemcsén

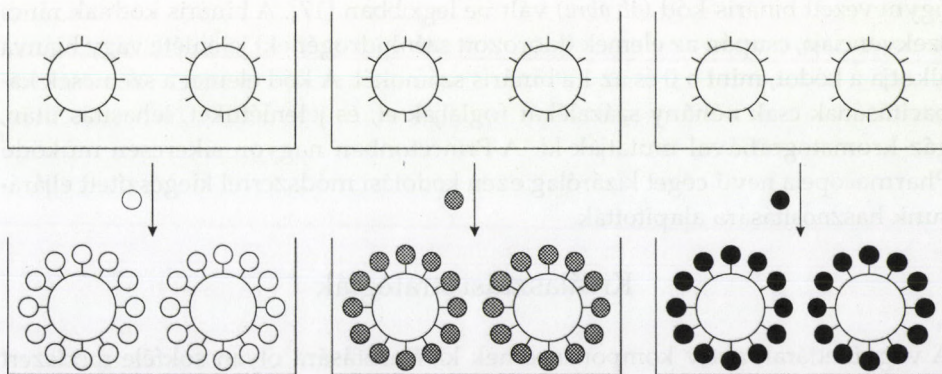
Egy másik, különösnek tűnő, de egyben nagyon nagy jelentőségű sajátága a módszernek az, hogy minden egyes parányi hordozószemcsén egyetlen vegyület képződik. Keverékhez csak akkor jutunk, amikor a képződött vegyületeket lehasítjuk a hordozóról. Amíg a képződött vegyületek a hordozón vannak, vagy ha azokat egyenként hasítjuk le a szemcsékről, egyedi vegyületekként kezelhetjük és vizsgálhatjuk őket.

Az, hogy egyetlen vegyület képződik a szemcséken, annak a következménye, hogy – amint a 3. ábra is mutatja – a szemcsék minden kapcsolási lépésben csak egyetlen aminosavval (vagy más monomerrel) kerülnek érintkezésbe. Aminosavval történő kapcsolási reakció során például az összes szabad aminocsoporthoz ugyanaz az aminosav fog kapcsolódni. Az, hogy egy adott szemcsén milyen szekvencia képződik, attól függ, hogy a szemcse a szintézis során milyen utat járt be, azaz a hordozó megosztásai során véletlenül mely reakcióedényekbe került.

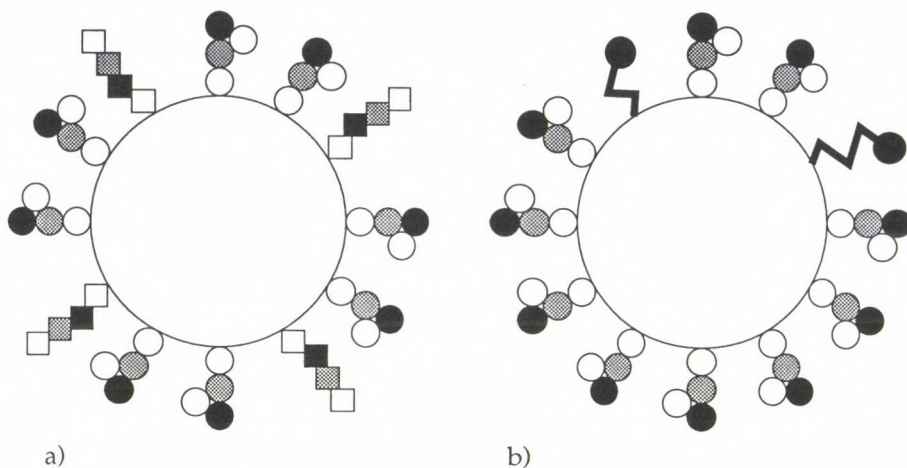
Minden szemcse tehát egy tartály, amely egy meghatározott vegyületet foglal magába. Sajnálatos azonban, hogy ezeken a tartályokon nincs címke. Ha kíváncsiak vagyunk arra, hogy mi van a szemcsében, meg kell határoznunk annak tartalmát. Ez peptidek esetében történhet egy automatikus szekvenátor segítségével [13], más szerves vegyületek esetére pedig olyan módszereket dolgoztak ki, amelyek alkalmazásával felderíthető, hogy a szemcse a szintézis során mely reakcióedényekben fordult elő.

Alkalmasság különféle szerves vegyülettárak szintézisére

A gyógyszerkutatásban a peptideknél nagyobb jelentőségre tettek szert a különféle kis molekulájú szerves vegyületek. Ezért különösen nagy jelentősége van annak, hogy módszerünk a peptidtárakon kívül legkülönbébb szerves vegyületekből, nyílt szénláncúakból, hetero- és homociklusosokból álló vegyülettárak készítésére is alkalmas. Mivel az ezen tárukban előforduló vegyületek szerkezetének meghatározására nincs olyan általánosan bevált módszer, mint a peptideknél a szekvencia-meghatározás, különféle kémiai kódrendszereket vezettek



3. ábra. A szemcsék minden kapcsolási lépésben csak egyetlen monomerrel reagálnak



4. ábra. Szekvenciális (a) és bináris (b) kóddal megjelölt szemcsék.
 A különböző tónusú köröcskék a fővegyület monomerjei, a négyzetecskék aminosavak vagy nukleotidok. A fekete körökben végződő vonalkák a bináris kód elemei

be, amelyekkel a szintézis során a szemcséket meg lehet jelölni. Azok leolvasásakor kiderül, hogy a szemcsé milyen utat futott be, azaz milyen reakciókat hajtottak végre rajta. Ebből aztán egyértelműen következtetni lehet a képződött vegyület szerkezetére. A kódot a fővegyület szintézisével párhuzamosan vizsgálják a szemcsékre. Használják szekvenciális kódokat (4a ábra) mint például peptid-szekvenciát [14] vagy nukleotidszekvenciát [15], [16]. A gyakorlatban azonban az úgynevezett bináris kód (4b ábra) vált be legjobban [17]. A bináris kódnak nincs szekvenciája, csupán az elemek (klórozott szénhidrogének) jelenléte vagy hiánya alkotja a kódot, mint a 0 és az 1 a bináris számokét. A kód elemei a szemcsék kapacitásának csak néhány százalékát foglalják el, és jelenlétüket, lehasítás után, gáz-kromatográfiával mutatják ki. A Princetonban nagyon sikeresen működő Pharmacopeia nevű céget kizárólag ezen kódolási módszerrel kiegészített eljárásunk hasznosítására alapították.

Kiválasztási stratégiák

A vegyülettárak aktív komponenseinek kiválasztására olyan sokféle módszert dolgoztak ki, hogy e helyen akár futólagos ismertetésük is lehetetlen, és csupán a fontosabbakat említjük meg röviden. E módszereket két csoportba szokták sorolni: oldható keveréktárak és hordozóhoz kötött táruk vizsgálatára.

Oldható keverékek

Az oldható keverékek esetében a vizsgálat meghatározott összetételű résztárakkal [18] történik. Ezek közül a legkorábbi az aktív peptid szekvenciájának meghatározására szolgáló, úgynevezett *iterációs módszer*, amelyben a résztárak szintézise és hatásvizsgálata több lépcsőben történik, amelyek eredménye végül elvezet az aktív szekvenciához. Bár ennek leírása már az általam megfogalmazott 1982-es dokumentumban is szerepel [6], végül is tőlünk függetlenül mások publikálták [19]. Egy másik módszer a *pozicionális letapogatás* [20]–[22]. A résztárak felhasználhatóságának lehetőségét a *kihagyásos peptidtár* példáján szeretném röviden érzékeltetni, amelyet a közelmúltban publikáltunk, és amely az aktív peptidek aminosav-összetételének meghatározására szolgál. Tételizzük fel, hogy létezik egy alanint tartalmazó tripeptid, amely biológiailag aktív. Ha előállítunk egy teljes tripeptidtárat, az természetesen szintén aktívnak bizonyul, mivel az minden tripeptidszekvenciát tartalmaz, köztük az aktívat is. Ha mármost készítünk egy olyan tárat, amelyből az alanint minden kapcsolási pozícióban kihagyjuk (alanin-kihagyásos tár) akkor abból az összes alanintartalmú peptid hiányozni fog, közte az aktív is. Ez természetesen nem fog aktivitást mutatni. Egy ilyen negatív eredményből tehát azt a következtetést lehet levonni, hogy az aktív peptid alanint tartalmaz. Ha az összes (20) kihagyásos tárat elkészítjük és megvizsgáljuk, akkor megkapjuk az aktív peptid aminosav-összetételét.

Hordozóhoz kötött táruk

A hordozóhoz kötött táruk használata arra épül, hogy a szemcsék egyedi vegyületeket tartalmaznak. A legkorábbi módszer [13] alkalmazása során a következőképpen jártak el: a szemcsেকেveréket színes vagy fluoreszcens toldalékkal megjelölt célfehérjével keverték össze. A specifikusan kötődő fehérje színessé vagy fluoreszcenssé tette az aktív peptidet tartalmazó szemcséket. A szemcse elkülönítése és a fehérje leoldása után meghatározták a szemcsén maradt peptid szekvenciáját. Elterjedten használják a szemcséket úgy is, hogy azokról egyenként vagy egy-egy csoportjukból több részletben lehasítják a vizsgálandó anyagot [23], [24]. Nagyon érdekes az az eljárás is, amelynek során katalizátorokat lehet azonosítani szemcsékhez kötött tárukából, annak alapján, hogy a katalizátort tartalmazó szemcsékben a reakció során hő fejlődik, és ezért hőmérsékletük magasabb, mint a katalizátort nem tartalmazó szemcséké.

Egyedi vegyületek néhányszor tízmilligrammos tételben

A megosztásos-keveréses szintézisnek a fentebb tárgyalt sokféle előnye mellett van két hátrányos tulajdonsága. Az egyik az, hogy bár a szemcséken egyedi vegyületek képződnek, azok azonosságát külön kísérlettel lehet csak eldönteni. A másik hátrány az, hogy egy-egy szemcsén csak kevés anyag képződik, amely nem elegendő több kísérletsorozatra és tartalékolásra. Ezért a gyógyszerkutatásban nagyon elterjedten használják jelenleg az egyedi vegyületsorozatok előállítására az úgynevezett párhuzamos szintézist.

Párhuzamos szintézis

A párhuzamos szintézis több reakcióedényben egyidejűleg végzett szintézist jelent, amelynek segítségével néhány vagy néhány száz vegyület állítható elő. Az első ilyen szintézist, a még ma is használt, úgynevezett „multipin” eljárást Geysen és munkatársai publikálták 1984-ben [26]. Geysen kézi eljárása óta sokféle automatikusan működő szintetizátort fejlesztettek ki. Ezek közül egy csúcskészülék az Advanced ChemTech cég 384 HTS nevű gépe, amely egyszerre 384 vegyületet készít szilárd fázisú eljárással.

A párhuzamos szintézisek azért kedveltek, mert nagyobb anyagmennyiségeket eredményeznek, ezek akár tisztíthatók is, és azonosításuk nem jelent külön gondot. Van azonban egy nagy hátrányuk is: nagyon lassúak és drágák. Ezért újabban olyan eljárásokat fejlesztettek ki, amelyek a mi osztásos-keveréses eljárásunkon alapulnak, megőrzik annak nagy hatékonyságát, és amellet ismert szerkezetű egyedi vegyületeket eredményeznek olyan mennyiségben, mint a parallel eljárás.

Megosztott szintézis makroszkopikus hordozóegységeken

1995-ben két közlemény jelent meg ([27], [28]) olyan módosított megosztásos-keveréses szintézisről, amelyben a szilárd hordozót porózus falú kapszulába zárták egy olyan elektronikus csippel együtt, amely a szintetizálandó vegyület azonosítási kódját tartalmazta. Ezeket a kapszulákat a kapcsolási reakciók között – a rajtuk levő kódot figyelembe véve – a megosztásos-keveréses módszer elvei szerint keverték, majd szortírozták, és a szintézis végén a képződött vegyületeket a radiofrekvenciás úton leolvasható kód alapján azonosították. Az e módszer hasznosítására alapított IRORI nevű cég egy automatikus szortírozóberendezést fejlesztett ki (5. ábra), amelynek kapacitása 10 ezer kapszula 10 óra alatt. A kap-

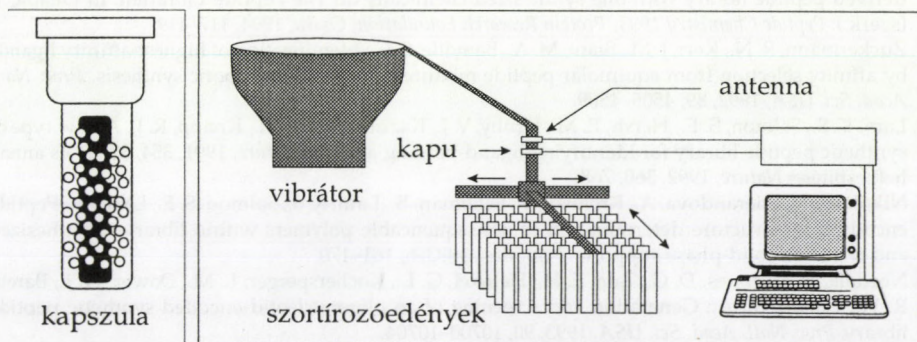
szulák egy edényből vibráció útján egy csőbe kerülnek, amelyen van egy elektronikus kapu. Az éppen ott lévő kapszulára egy antenna rádiófrekvenciás sugárzást bocsát, amely visszasugározza a kódot, s ennek alapján az x-y irányba mozgatható berendezés a kapszulát a megfelelő gyűjtőedénybe továbbítja.

Ez a rendszer olyan hatékony, hogy kezdi kiszorítani az automatikus parallel szintetizátorokat. Saját ötletem alapján a cégnél egy teljesen új elven működő, az előzőnél sokkal hatékonyabb berendezés kifejlesztésén dolgozunk, amely előreláthatólag mintegy 100 ezer makroszkopikus hordozóegység szortírozására – és ezáltal ugyanennyi vegyület egyetlen folyamatban történő szintézisére – alkalmas.

A kombinatorikus kémia helyzete

A másfél évtizede még teljesen ismeretlen kombinatorikus kémia a jelen évtized első éveiben indult robbanásszerű fejlődésnek. E területen máig mintegy 3500 szakcikket és 50 könyvet publikáltak, és mintegy 400 szabadalmat jegyeztek be. Több szakfolyóirat megjelenése is fémjelzi a fejlődést, és az évente rendezett szimpóziumok számát már alig lehet követni.

A kombinatorikus kémia legkorábbi és jelenleg is legnagyobb alkalmazója a gyógyszerkutató. Minden jelentős gyógyszergyár alkalmazza, és bevezetésére világszerte többszáz millió dollárba rúgó befektetések történtek. Várható, hogy ennek révén az új gyógyszerek az eddiginél nagyobb számban, gyorsabban és olcsóbban kerülhetnek kifejlesztésre. Hatására kivirágzott a szilárd fázisú szintézismódszer, kifejlődött a számítástechnika egy új ágazata, amely a kombinatorikus kémia kívánalmainak megfelelően szerkesztett adatbázisok (kiindulási anya-



5. ábra. Az IRORI-féle szortírozógép

gok, reagensek, reakciók) használatára épül. Ugyancsak óriási fejlődésen mentek és mennek át a hatásvizsgálati módszerek.

A gyógyszerkutatáson kívül a kombinatorikus kémia kiterjedt más kutatási ágazatokra is, például a növényvédő szerek, katalizátorok, félvezetők, szupravezetők kutatására is – hogy csak néhányat említsünk –, sőt létezik már kombinatorikus biológia is. Nem csoda, ha az utóbbi időben egyre többen vallják azt a felfogást, hogy a kombinatorikus kémiának azon a gyakorlati hasznon túlmenően, amit az említett tudományágakban máris hozott, az igazán nagy jelentősége abban a szemléletváltozásban van, amit a kutatók gondolkodásában idézett elő.

Irodalom

1. Geysen, H. M., Rodda, S. J., Mason, T. J.: A priori delineation of a peptide which mimics a discontinuous antigenic determinant. *Mol. Immunol.*, 1986, 23, 709.
2. Furka, Á., Sebestyén, F., Asgedom, M., Dibó, G.: Cornucopia of peptides by synthesis. In *Abstr. 14th Int Congr Biochem, Prague, Czechoslovakia, 1988*, Vol 5, 47.
3. Fodor, S. P. A., Read, J. L., Pirrung, M. C., Stryer, L., Lu, A. T. and Solas, D.: Light-directed, spatially addressable parallel chemical synthesis. *Science*, 1991, 251, 767.
4. Linde, A.: The self-reproducing inflationary universe. *Scientific American*, 1994. nov., 48
5. Merrifield, R. B.: Solid phase peptide synthesis. I. The synthesis of a tetrapeptide. *J. Am. Chem. Soc.*, 1963, 85, 2149
6. <http://szerves.chem.elte.hu/Furka>
7. Furka, Á.: Chemical synthesis of peptide libraries. In Jung, G. (szerk.): *Combinatorial Peptide and nonpeptide libraries Weinheim*. 1996, VCH, 111–137.
8. Furka, Á., Sebestyén, F., Gulyás, J.: Computer made electrophoretic peptide maps. In Pick J. és Vajda J. (szerk.): *Proc. 2nd Int. Conf. Biochem. Separations, Keszthely, Hungary, 1988*, 35–42.
9. Furka, Á., Sebestyén, F., Asgedom, M., Dibó, G.: More peptides by less labour. In *Abstr 10th Int Symp Med Chem, Budapest, Hungary, 1988*, 288.
10. Furka, Á., Sebestyén, F., Asgedom, M., Dibó, G.: General method for rapid synthesis of multicomponent peptide mixtures. *Int. J. Peptide Protein Res.*, 1991, 37, 487–493.
11. Saneii, H. H., Shannon, J. D., Miceli, R. M., Fischer, H. D., Smith, C. W.: Comparison of a phage-derived peptide library with one synthesized chemically on The Peptide Librarian. In Okada, Y. (szerk.): *Peptide Chemistry 1993, Protein Research Foundation, Osaka, 1994*, 117–119.
12. Zuckermann, R. N., Kerr, J. M., Siani, M. A., Banville, S. C.: Identification of highest-affinity ligands by affinity selection from equimolar peptide mixtures generated by robotic synthesis. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 1992, 89, 4505–4509.
13. Lam, K. S., Salmon, S. E., Hersh, E. M., Hruby, V. J., Kazmierski, W. M., Knapp, R. J.: A new type of synthetic peptide library for identifying ligand-binding activity. *Nature*, 1991, 354, 82–84 és annak helyesbítése: *Nature*, 1992, 360, 768.
14. Nikolaiev, V., Stierandova, A., Krchnak, V., Seligman, B., Lam, K. S., Salmon, S. E., Lebl, M.: Peptide encoding for structure determination of nonsequencable polymers within libraries synthesized and tested on solid-phase supports. *Pept. Res.*, 1993, 6, 161–170.
15. Needels, M. C., Jones, D. G., Tate, E. H., Heinkel, G. L., Kochersperger, L. M., Dower, W. J., Barrett, R. W., Gallop, M. A.: Generation and screening of an oligonucleotide-encoded synthetic peptide library. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 1993, 90, 10700–10704.
16. Nielsen, J., Brenner, S., Janda, K. D.: Synthetic methods for the implementation of encoded combinatorial chemistry. *J. Am. Chem. Soc.*, 1993, 115, 9812–9813.

17. Ohlmeyer, M. H. J., Swanson, R. N., Dillard, L. W., Reader, J. C., Asouline, G., Kobayashi, R., Wigler, M., Still, W. C.: Complex synthetic chemical libraries indexed with molecular tags. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 1993, 90, 10922–10926.
18. Furka, Á.: Sub-library composition of peptide libraries. Potential application in screening. *Drug Development Research*, 1994, 33, 90–97.
19. Houghten, R. A., Pinilla, C., Blondelle, S. E., Appel, J. R., Dooley, C. T., Cuervo, J. H.: Generation and use of synthetic peptide combinatorial libraries for basic research and drug discovery. *Nature*, 1991, 354, 84–86.
20. Sebestyén, F., Dibó, G., Furka, Á.: Efficiency and limitations of the „portioning-mixing” peptide synthesis. In Schneider CH, Eberle AN (Eds): *Peptides 1992 (Proceedings of the 22nd European Peptide Symposium)*, ESCOM, Leiden, 1993, 463–464.
21. Furka, Á., Sebestyén, F.: *Peptide sub-library kits*. PCT application 1993 WO 93/24517.
22. Pinilla, C., Appel, J. R., Blanc, J. R., Houghten, R. A.: Rapid identification of high affinity peptide ligands using positional scanning synthetic peptide combinatorial libraries. *Biotechniques*, 1992, 13, 901–905.
23. Jayawickreme, C. K., Geraminski, G. F., Quillan, J. M., Lerner, M. R.: Creation and functional screening of a multi-use peptide library. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 1994, 91, 1614–1618.
24. Baldwin, J. J., Burbaum, J. J., Henderson, I. and Ohlmeyer, M. H. J.: Synthesis of a small molecule combinatorial library encoded with molecular tags. *J. Amer. Chem. Soc.*, 1995, 117, 5588–5589.
25. Taylor, S. J., Morken, J. P.: Thermographic selection of effective catalysts from an encoded polymer-bound library. *Science*, 1998, 280, 267.
26. Geysen, H. M., Meloen, R. H., Barteling, S. J.: Use of peptide synthesis to probe viral antigens for epitopes to a resolution of a single amino acid. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 1984, 81, 3998–4002.
27. Moran, E. J., Sarshar, S., Cargill, J. F., Shahbaz, M., Lio, A., Mjalli, A. M. M., Armstrong, R. W.: Radio frequency tag encoded combinatorial library method for the discovery of tripeptide-substituted cinnamic acid inhibitors of the protein tyrosine phosphatase PTP1B. *J. Am Chem. Soc.*, 1995, 117, 10787.
28. Nicolaou, K. C., Xiao, X. Y., Parandoosh, Z., Senyei, A. and Nova, M. P.: Radiofrequenz-verschlüsselte kombinatorische chemie. *Angew. Chem.*, 1995, 107, 2476–2479.

Biológiai Tudományok Osztálya

Az Ökológia Helyzete és Perspektívái a Felsőoktatásban

MAJER JÓZSEF

Az ökológiaoktatás „diverzitása”

„Uram! Ne hagyd, hogy leromboljam az
élet templomát,
Engedd, hogy hasznomra váljék a tudás,
Hogy hasznossá lehessek általa...”

(Részlet Szent-Györgyi Albert *Psalmus Humanus*ából)

Arra a felvetésre, hogy kinek oktassunk és hogy mennyi ökológiát, Balogh János akadémikus egyszer azt a választ adta: „Mindenkinek és minél többet.” Az a kérdés, hogy mit oktassunk, és mit ne oktassunk, az ökológia tárgy keretén belül felvet egy formális és egy tartalmi kérdést, nevezetesen azt, hogy hogyan oktassunk, és mi az a közös ismeretanyag, amit mindenképpen oktatni kell ahhoz, hogy a különböző helyeken végzetek valamilyen alapfogalmi rendszerben közös nevezőre juthassanak.

Ha az ökológia területére tévedt vagy a körülmények hatására ökológia oktatására kényszerült egyetemi előadó reflexszerűen beszerzi az angolszász nyelvterületen legáltalánosabban elterjedt ökológia-tankönyvként emlegetett munkákat, rendszerint kiköt Odum, Krebs, Begon–Harper, Townsend, Ricklefs, Stiling tankönyveinél.

Ha valaki a hazai, nem létező könyvtári kínálatot átnézi, akkor Juhász-Nagy Pál (1986) *Egy operatív ökológia hiánya, szükséglete és feladatai* című könyvéhez jut el. Ezzel le is zárul a magyar nyelvű munkák sora, ha nem vesszük figyelembe a korlátozott mértékben vagy már egyáltalán nem kapható egyetemi jegyzeteket, illetve egy, kis példányszámú kísérleti tankönyvet (Gallé, 1973; Szentesi–Török, 1997; Majer, 1994).

Aki Juhász-Nagyot nem érti, vagy nem olvasta, és elég lelkiismeretes ahhoz, hogy nem akar „egykönyvű” oktatóvá válni, máris bajba került. A fent említett és a hozzájuk hasonló angolszász tankönyvekből sokféle eklektikus ismeret egymással többé-kevésbé kapcsolódó halmazához jut. Igazán azonban ezek nem állnak össze koherens ismeretté. Pláne nem teszik lehetővé a tárgy definícióját, ami mégiscsak joggal elvárható valahol az előadások során, lehetőleg a téma kifejtése kezdetén. Nos, itt következik be az első katarzis. Van szerző, aki egyszerűen elfelejti a tárgyat definiálni, egyesek etimológiai útra tévednek, mások a fogalom alakulásának történeti áttekintését tárják csak elének.

Minél több ilyen tankönyvet nézünk át, annál inkább rájövünk arra, hogy itt valami nincs rendben. Minden valamirevaló ökológiakönyv foglalkozik a populációbiológia alapjaival. Ha kissé körülnézünk a társtudományok háza táján, akkor a jobb biogeográfia, az átlagos genetikatankönyvek, az evolúcióbiológiai és a szociobiológia tankönyvek többé-kevésbé ugyancsak tartalmazzák a populációbiológia elemeit. Ez tehát nem lehet kizárólagosan csak az ökológiaoktatás feladata. A legtöbb tankönyv foglalkozik a biológiai termeléssel, azaz a produkcióbiológiával. Sok könyv érinti a társulástant, más könyvek az élőlények elterjedésének alap-törvényszerűségeivel is megismertetnek, legalább a McArthur-féle sziget-biogeográfiai alapelemeivel. Az alaposabbak az élővilág változatos biomszintű taglalását sem hagyják ki. Szinte minden munka tartalmaz anekdotázó stílusú természetvédelmi kérdéseket, humán jellegű diszturbanciákat. Természetesen nem maradhatnak el a különféle populációmodellek, többnyire kiragadott grafikus ábrázolásokra szorítkozva, az összefüggések levezetése nélkül. Ha a magyar oktató konzekvens önmagához, akkor biztosan elköveti a legnagyobb hibát, amit akaratlanul vagy naivan egyáltalán megtehet (ami egyébként máskor követelmény): a fogalmak definiálásához szaklexikonokhoz nyúl. Nem sorolnám ide az *Ökológiai kislexikont*, de a terjedelmesebb külföldi munkáktól sem leszünk sokkal okosabbak. Ezzel el is vészett a tájékozódni kívánó tanár. Ettől kezdve olyan érzése lesz az előadásaira készülve, hogy vak vezet világ-talant. Csúszkál a különböző szerveződési szintek között (mert nem ismeri Varga szellemes ábráját a szerveződési szintekről), az egész anyag nem áll össze logikus, szerves egésszé.

Mi akkor a teendő?

Az ökológia történeti kialakulását nehéz lenne a szinte már megkövetelt közhellyel kezdeni: „Már a hellenisztikus korban a régi görögök, de már az egyiptomiak is...”

Az igazság az, hogy a szünfenobiológia részei a múlt század végén kezdtek többé-kevésbé jól körvonalazódni, miután az élővilág romantikus leltárbavétele a nagy földrajzi felfedezésekkel együtt a gerincesfajok tömeges leírásának korszakával lezárult. Az ökológia híján van olyan kézenfekvő empirikus tapasztalatoknak, mint amilyeneket például az alkímia gyűjtött össze, ezzel mintegy előkészítette és kikényszerítette a kémia tudománya kialakulását. A fenológiai értékekre rákérdező *mi van* mellett, Haeckelt, Lamarckot, Wallace-t, Darwint, hogy csak a legközismertebbeket említsem, legalább annyira foglalkoztatta az, hogy az élővilág sokfélesége *hogyan* alakult ki, az együtt élő különböző fajok *milyen* funkcionális kölcsönhatásban vannak egymással. A *mi van* mellett egyre inkább a *miért* kérdése is megfogalmazódott. A Föld teljes birtokbavételével nyilvánvaló lett az élővilág makroméretű

aggregálódásának és szegregálódásának ténye. Ezzel együtt járt a regionális biogeográfia kialakulása, annak felismerése, hogy az élőlények nem véletlenszerűen helyezkednek el, hanem térben és időben az egyes csoportok éppenséggel jól elkülönülnek, míg mások mindig együtt fordulnak elő. Haeckel, Möbius, Forbes, Cowles, Clements és mások a tér-idő mintázatok elemzésével nemcsak a cönológia tudománya kialakulásában játszottak jelentős szerepet, hanem náluk már a látencia, a miértek is, a tényleges kényszerfeltételek, a kauzális háttér kérdése is megfogalmazódik, ami az ökológia problémafelvetésének a lényege.

A szünfenobiológia ennek megfelelően a jelzett (indikátum) jelenségek és folyamatok, míg az ökológia a jelzendő (indikandum) jelenségek és folyamatok stúdiума (Juhász-Nagy, 1986). Ezek szerint az ökológia oktatásának tárgya egyszerűsítve nem lehet más, mint bemutatni azokat a hatótényezőket (többnyire többváltozós értékeléssel), amelyek egy cönológiai mintázat kialakulásáért, időleges vagy tartós fennmaradásáért, illetve megváltozásáért felelősek. Juhász-Nagy elegánsan ezt így fogalmazta meg: „...az ökológust mindig a koegzisztenciális szerkezetek létének és változásának magyarázata (értelmezése) foglalkoztatja”. Az angolszász ökológia-tankönyveknek legnagyobb hibája, hogy szerzőik nem jutottak el a fogalmak könnyörtelen és következetes, „debreceni” vaslogikával való tisztázásához. Nagy hiba, hogy nem olvasták Juhász-Nagy Pál (1970, 1984, 1986), Jakucs, Dévai, Précsényi (1984), valamint Dévai, Juhász-Nagy és Dévai (1992) munkáit.

Ha nagyon következetesek vagyunk, akkor egy ökológiastúdiumnak az együtt létező csoportok együttélési kényszerfeltételeit és törvényszerűségeit vagy éppen az együttélést megváltoztató, esetleg kizáró tényezők bemutatása, valamint ezek kialakulásának (evolúciójának) ismertetése a feladata. Ennyi, és nem több, és nem is kevesebb.

Ha megnézzük az említett sztár tankönyveket (és még jó néhány más könyvet), akkor azokban ennél jóval többet és jóval kevesebbet találunk. Többségük valamilyen eklektikus szünbiológiai kisenciklopédia, így a könyv címe, ami többnyire az ökológia, és egyúttal legjobb esetben is csak néhány fejezete a műnek. E gondolatok írója valamikor a vegytant is művelte. A kémia tudományában egy általános kémiatankönyv, bárhonnan is származzon (nemcsak angolszász nyelvtérületről), sokkal inkább didaktikailag tér el, és nem tartalmilag.

Ezzel szemben az általam áttanulmányozott, *Ökológia* címmel kiadott, félszázat meghaladó tankönyvek tartalmi és strukturális mintázata igen nagy eltéréseket mutat.

Sokkal inkább illene rájuk egy ilyen cím: „Elméleti vagy általános populációbiológia, szünbiológia, önkényes szemelvények az ökológiából, és még ami hirtelen eszembe jutott a természet- és környezetvédelemből”. Persze ilyen címmel könyvet megjelentetni képtelenség, noha tartalmilag jó néhányra a fenti illik legjobban, legalábbis ha a gyanútlan olvasót nem akarjuk becsapni.

Mi hát a teendő?

Először is definiálni az ökológiát. Ez nem egyszerű. A magyar olvasónak meg kell magyarázni, hogy az angol *ecology* szó nem tükörfordítása a magyar ökológiának. A filozofoknak pedig meg kell érteniük, hogy az ökológia tudományának definíciója nem nyelvészeti vagy etimológiai kérdés.

Az angolszász nyelvterületet és annak holdudvarát pedig arról kell sürgősen meggyőzni, hogy az általuk használt *ecology* jó esetben a szünbiológiát foglalja magába. Rosszabb esetben környezetvédelmi közhelygyűjtemény. A fentiek önmagukban is jelzik, hogy igen sokféle dolgot tanítanak ökológia címszó alatt (hogy a kulturális vagy a mélyökológiát és hasonlókat már ne is említsem).

Az ökológia-tankönyvek állandó standard, további nem csak ökológia jellegű része a populációbiológia (ami nélkül nyilván nincs és nem értelmezhető az ökológia). A populációbiológia alapozó tárgy, és részben része (legalábbis annak kellene lennie) nemcsak az ökológiának, hanem a genetikának, a cönológiának, a biogeográfiának és a produkciós biológiának is. Egy színvonalasan előadott populációbiológia-kurzus tehát egyszerre több tárgyhoz is kitűnően alapozhatna. Az ökológia-tankönyvek bizonyos elemeit tartalmazzák a populációbiológiának. Átfogó populációbiológiai alapokat csak elvétve nyújtanak. Kevés könyvben lehet a populációbiológia alábbi logikai sorát együttesen megtalálni.

A populáció belső törvényszerűségei

1. A populáció egyedeinek kölcsönhatása kétféleképpen nyilvánul meg: kooperációban, illetve kompetícióban.
2. A populáció a környezet hatására tér- és időbeli létszámváltozással (beleértve a korösszetétel-változást is), illetve produkcióváltozással válaszol. A létszámváltozás ökológiai történések jelzője, míg a biológiai termelés, a produkcióváltozás nem tartozik az ökológiába, az ugyanis a produkciós biológia része.
3. A populáció létszáma sűrűségfüggően, illetve attól függetlenül változik. Egyes könyvek figyelembe veszik az időbeli késleltetés hatását, a többségük azonban nem. Ezt rendszerint valamilyen visszacsatolási modellel szemléltetik. A munkák többsége beéri a determinisztikus egyenletekkel vagy azok grafikus ábrázolásával. Az igényesebbek az ökológiai történéseket és azok eredményét sztochasztikus folyamatokként írják le, érzékeltetve az események valószínűsíthetőségét.

A populációk együttélési feltételei

Ezek vizsgálata többnyire a „populációk kölcsönhatása” címszó alatt szerepel. A kompetíció (Gause kísérletei), a ragadozó–zsákmány viszony különböző mértékű kiterjesztésében (klasszikus ragadozó–zsákmány viszony, herbivoria, gazda–parazita, parazitoid viszony stb.) minden munkában megvan, kevesebb könyv tartalmazza már a kooperációt. Ritka az a könyv, amely a populációk kölcsönhatását változó környezetben is taglalja. A leírások, matematikai levezetések többnyire valamilyen determinisztikus eredménysorokat takarnak (leginkább Verlhurst, valamint Lotka és Volterra után). Kevés könyv tér ki arra, hogy valójában ezek a kölcsönhatások csak valószínűsíthető sztochasztikus folyamatok. Még ritkább az, ha valaki a kölcsönhatásoknál figyelembe veszi és beépíti a modelljébe a véletlent vagy a katasztrófát, ami a természetnek éppúgy része, mint a törvényszerű események.

Külön kérdés a modellek felépítése és értelmezése. Ritka az a szerző, aki kiemeli, hogy az ökológiai folyamatokban az egymástól független változók száma nagy, 30-40-től több százig terjedhet. Ezért a szemléltetésre és a főbb hatótényezők vizsgálatához nélkülözhetetlen a modellek alkalmazása, amelyek azonban a valós események leegyszerűsítését jelentik, és ezzel az éppen fókuszált hatótényező fokozott kiemelésre kerül.

Külön fejezet a korösszetétel változásának kérdése. Az életmenet-stratégiák nem oktathatók evolúciós ökológiai ismeretek nélkül.

A többnyire jól-rosszul átvett populációbiológiai ismeretanyagban elsikkad a ható populációk szerepe (vagyis a latencia) a fenetikum kialakulásában. Az egymással interakcióban lévő populációk kettős volta (mint a fenetikum részei, ugyanakkor egyúttal ható tényezők is). Nyilvánvalóan az ökológus dolga ezek felmutatása.

A geokémiai ciklusok ugyan fontosak, de önmagukban nem az ökológia részei, csak a hatótényezőkként értelmezve tehetők azzá.

Nagy ritkaság a mintázatok, a populációk közötti relációk, a közösségek stabilitásának rendszerszemléletű bemutatása (loop-analízis, szisztematikus rendszerelemzés).

Az elméleti ökológiaoktatásnak végül is a fenetikum, az élővilág mintázataért, valamint annak kialakulásáért felelős tényleges kényszerfeltételek és a kauzális háttér szerepének a bemutatása a célja. A centrális hipotézis és a négy alapelv mindenkire kötelező.

Miben állhat akkor az ökológiaoktatás sokfélesége?

Néhány példát kiragadva:

1. Az elméleti megállapítások gyakorlati példákkal való alátámasztásában.
2. A vizsgálati módszerek bemutatásában.

3. Az összefüggések modellezésének sokféleségében.
4. Magatartásökológiai szemléletű (sok vonatkozásban ilyen Szentesi és Török ökológiajegyzete), interpretációk a zoológusoknak.
5. Más tárgyak alapozásához készült ökológiaművek a cönológia-, biogeográfia-, szociobiológia- stb. tankönyvekhez adnak ökológiai alapismereteket, és alakítanak ki ilyen szemléletet.

Mi az ökológiaoktatásunk erőssége?

A fogalmi rendszerünk logikus, eredeztető, operatív volta. Ez egyetlen külföldi tankönyvben vagy kézikönyvben sem található meg ilyen teljességgel. Erre lehet didaktikailag is építeni. Most már csak egy jó kézikönyv hiányzik, ami folyamatosan kapható, és amit a hazai felsőoktatás általánosan elfogad, és ami olyan nyitott, hogy teret enged az egyes irányzatok specialitásainak beillesztéséhez.

Irodalom

- Dévai Gy., Juhász-Nagy P., Dévai I.: A vízminőség fogalomrendszerének egy átfogó koncepciója. 2. rész: A hidrobiológia és a biológiai vízminőség fogalomkörének értelmezése. *Acta Biol. Debr. Hung.*, 1992, 4, 29–47.
- Jakucs P., Dévai Gy., Précsényi I.: Az ökológiáról – ökológusszemmel. *Magy. Tudom.*, 1984, XCI/5, 348–359.
- Juhász-Nagy P.: Egy operatív ökológia hiánya és szükséglete. Első rész. A hiány és a „negatívumok”. *MTA Biol. Tud. Oszt. Közlem.*, 1970, XII/3–4, 441–464.
- Juhász-Nagy P.: *Beszélgetések az ökológiáról*. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 1984, 235 p.
- Juhász-Nagy P.: *Egy operatív ökológia hiánya, szükséglete és feladatai*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1986, 251 p.
- Majer J.: *Az ökológia alapjai*. Kísérleti tankönyv. Szaktudás Kiadó, Budapest, 1994, 246 p.
- Szentesi Á.–Török J.: *Állatökológia*. (Egyetemi jegyzet.) Kovásznai Kiadó, Budapest, 1997, 364 p.

TÖRÖK JÁNOS, OBORNY BEÁTA,

SZENTESI ÁRPÁD

A szünbiológia oktatás szintjei az ELTE-n

1. Történeti áttekintés

1.1 Állatrendszertani és Ökológiai Tanszék

Dudich Endre professzor 1934-ben alapította az akkori Pázmány Péter Tudományegyetem Állatrendszertani Tanszékét. 1967-ig, aktív tanszékvezetői időszaka ideje alatt, erős taxonómiai alapokon nyugvó, biogeográfiai és evolúciós szemléletet valósított meg, és a személyi mellőzés és más problémák ellenére, szakmai szempontból magas színvonalú tanszéket hagyott örökül. A tanszéken már korábban is ökológiával foglalkozó Balogh János nemzetközi szempontból is kimagasló munkásságát végzett, melynek egyik eredménye az 1953-ban, magyar és német nyelven megjelent, *A zoocönológia alapjai* című munkája. Ezzel a könyvvel vezeti be Balogh a cönológiai (ma szünfenobiológiai) szemléletet a tanszékre. A tanszék neve Balogh János tanszékvezetése alatt (1968–1983) változott a jelenlegire, 1973-ban. Loksa Imre (1984–1990) munkásságát a cönológiai látásmód kiteljesedése jellemzi. A tanszéken mások, például Gere Géza kutatásai is az élvonalba tartoztak a maguk idejében. Produkcióbiológiai munkái megelőzték az IBP által javasolt irányzatok eredményeit. Az 1991-től eltelt időszakban a szünbiológiai szemlélet általánossá válása és modern kutatási témák, például populációs kapcsolatok, életmenet és táplálkozási stratégiák vizsgálata erőteljessé vált. Ugyanakkor a tanszék megőrizte a dudich-i tradíciókat is. Az ökológia mellett a taxonómia, biogeográfia, hidrobiológia területén folynak kutatások. A tanszék doktori iskolájának az ökológiai és az utóbb említett diszciplínák egyaránt részét képezik.

A tanszék saját folyóirattal rendelkezik (*Opuscula Zoologica*), melynek kiadását 1956-ban kezdte el, és amely nagyobb részben rendszertani, kisebb részben ökológiai írásokat közöl.

1.2 Növényrendszertani és Ökológiai Tanszék

A tanszék mai nevét szintén 1973-ban nyerte el, de az oktatás története több mint kétszáz éves múltra, folyamatos fejlődésre tekinthet vissza. Egyetemünk elődje, a Nagyszombati Egyetem, 1769-ben alapította meg kémiai és botanikai tanszékét, és nem sokkal később botanikus kertjét (1). Attól kezdve a kutatás és oktatás színvonalát olyan tanszékvezetők és botanikus kerti igazgatók nevei fémjelezték, mint Winterl Jakab, Kitaibel Pál, Sadler József, Tuzson János, Andreánszky Gábor. A tanszék mai karakterének kialakításában meghatározó volt Soó Rezső munkássága, iskolateremtő egyénisége a filogenetikai növényrendszertan, florisztika, cönológia terén. 1963-ban került a tanszékre Juhász-Nagy Pál, akinek kimagasló elméleti ökológiai ismeretei és matematikai modellező érdeklődése új korszakot nyitott a tanszék életében. Ekkor, Simon Tibor tanszékvezetése idején, kiegyensúlyozott, alkotó légkörben egy új nemzedék nevelődött fel, amelybe a jelenlegi tanszékvezető, Szathmáry Eörs is tartozik, aki nemzetközi szinten is igen elismert elméleti biológus, evolúciókutató. A tanszékre ma az erős elméleti, modellező irányvonal, valamint a társulás-ökológiai, ökofiziológiai és konzervációbiológiai kutatások jellemzőek.

Ez a tanszék is rendelkezik önálló periodikával (*Abstracta Botanica*), melyet az uppsalai Opulus Press-szel közösen adnak ki. Fő profilja az ökológia és elméleti biológia.

Az ökológia oktatását tekintve a két tanszék szemlélete, közelítésmódja markánsan eltér, és az egyeztetésnek köszönhetően egymást jól kiegészíti. Míg az Állatökológia tananyaga alulról felfelé építkezik, a populációs interakciók felől közelíti meg a közösségek szerveződését, és főként a funkcionális kérdéseket hangsúlyozza, addig a Növényökológia oktatása a struktúra felől halad a funkció felé, a közösségi mintázatok felől a mintázatgeneráló mechanizmusok felé. Így az esszétananyag kiegyensúlyozottan foglalkozik a különböző organizációs szintekkel, és bemutatja a hazai és nemzetközi iskolák főbb eredményeit.

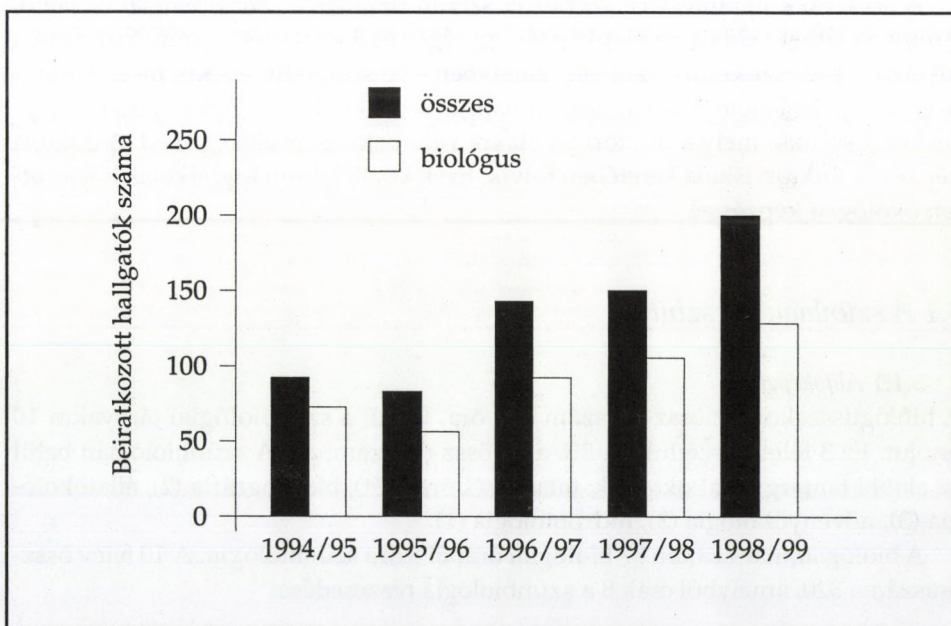
2. Mit jelent a szünbiológia?

Mindkét tanszék a szupraindividuális organizáció szintjén oktat jelenségeket. A szünbiológia az élőlények populációinak tér-időbeli eloszlásával, mennyiségi változásaival, interakcióinak leírásával, az anyag- és energiaforgalom sajátosságaival (szünfenobiológiai megközelítés), valamint az eloszlások, változások és kapcsolatok okozati hátterének (ökológiai megközelítés) feltárásával foglalkozik. A modern ökológiai megközelítés egyre inkább előtérbe helyezi a problémák kísérletes úton való vizsgálatát. A többi diszciplínától alapvetően különbözik a tudományos kérdések megközelítésében, mert

- vizsgálatainak skálázása a természeti jelenségek előfordulási és lezajlási gyakoriságához és tartamához idomul. Emiatt a 5–15 év hosszúságú vizsgálódások sem ritkák. A szezonális élőhelyek által teremtett kényszerfeltételek meghatározott időhöz kötnek jelenségeket (például a hernyórágás hatása a tölgypusztulásra csak hosszú távon mérhető jelenségek komplex vizsgálatával dönthető el);
- szabadföldi vizsgálatok dominálnak, ami nehezebbé teszi a munkát, elsősorban a természetes folyamatok gyakori sztochaszticitása miatt. Elterjedt a természetes populációkon végzett kísérletezés, amely a vizsgálódási lehetőségek csak egy megadott körét teszi lehetővé.

Ugyanakkor meglehetősen félreismert diszciplína, amely a laikus szemében azonosul a természetmegfigyeléssel. Fejlődésének ezen a szakaszán a szűnbiológia már korán túljutott. Az itt hangsúlyosan kiemelt oknyomozó, tehát ökológiai kutatások, gyakran igényelnek műszeres, jelentős anyagi támogatást. Így

- műszerigénye kiterjed a nagyszámú abiotikus változó folyamatos automatikus regisztrálásától a nagy testű állatok aktivitáskörzetének műholdas telemetriai méréséig;



1. ábra. Az ELTE-re beiratkozott biológus és biológia tanár szakos hallgatók száma az elmúlt öt évben

- *problematisztikus tudománymetriai megítélése* is. A hosszú távú vizsgálatokból következően jóval kevesebb cikk jelenik meg, ezért a scientometriai értékelését ez lényegesen befolyásolja. Természetesen az ökológusok száma is jelentősen alacsonyabb egy másik, például biokémiai diszciplínához képest.

3. Reform a biológusképzésben az ELTE-n

Az egyetemnek önkormányzatának visszanyerése, a nemzeti oktatáspolitikában végrehajtott változtatások azzal az eredménnyel jártak, hogy megnövekedett az egyetemi képzésben részt vevő hallgatók száma. Ez a növekedés évek óta folyamatos, és emiatt jelentős konfliktusok forrása is egyben a változatlan infrastruktúrával rendelkező felsőoktatási intézmények számára. Amint azt az 1. ábrán bemutatjuk, a hallgatói létszám növekedése 1994–1998 között az ELTE-n nagyon jelentős volt. Ugyanakkor az anyagi támogatás (1997 óta a normatíva) reálértékének csökkenése mellett a megnövekedett feladatokat egyre kevesebb oktatóval kell ellátni. Az ökológiát oktatók száma az Állatrendszertani és Ökológiai Tanszéken 2, amelyhez alkalmi kisegítéssel doktoranduszok is csatlakoznak. Hasonló problémák mutatkoznak a Növényrendszertani és Ökológiai Tanszéken.

A tanszékek új tanterv és szerkezet szerint oktatják a szünbiológiát (2. ábra). Amint az látható ebből, az alapképzés egységes és 3 éves időtartamú. Erre épül a további 2 éves szakirányú képzés, amelyben 4 fő szakirány jelenik meg. A szakirányú képzés lehetővé teszi, hogy a hallgatók kellő időben olyan speciális képzéshez jussanak, mely a doktori iskolákra való bejutást is elősegítheti. A doktori képzés 11 doktori iskola keretében folyik. Ezek közül három foglalkozik kifejezetten ökológiai képzéssel.

3.1 A szünbiológia szintjei:

3.1.1 Alapképzés

A biológusszakon az össz-óraszám 124 óra. Ebből a szünbiológiai tárgyakra 10 óra jut. Ez 3 félévre szétbontva 8%-a az össz-óraszámnak. A szünbiológián belül az alábbi tantárgyakat oktatjuk: talajtan (1 óra/hét), biogeográfia (2), állatökológia (3), növényökológia (3), hidrobiológia (1).

A biológiatanár-szakon 87 biológiai órából 8 óra szünbiológia. A 10 félév össz-óraszámja 320, amelyből csak 8 a szünbiológia részesedése.

3.1.2 Szakirányú képzés

A szakirányú képzés címe: *Evolúcióbiológia, ökológia, szisztematika*. A szakirányra jelentkező hallgatók létszáma az 1997/98. évben 18 volt (ez 70 főből 26%-ot

jelent), az 1998/99. évben 26 hallgató, ami 56-ból 48%-nak felel meg. A szakirány 34 kötelező, 11 kötelezően választható, 60 szaklabor- és 15 egyéb (összesen 120 tanegységpont) óra hallgatását, illetve az ezeken való részvételt ír elő.

A szakirányú képzésben az alábbi szünbiológiai tárgyakat oktatjuk összesen 26 órában: evolúciós ökológia (2 óra/hét), közösségi ökológia (2), viselkedésökológia (2), természetvédelmi biológia (2), ökológiai gyakorlat (8), kutatástervezés-gyakorlat (4), biogeográfia (2), Magyarország állatvilága (2), Magyarország növényvilága (2). Az evolúciós tárgyak: evolúcióbíológia, molekuláris evolúció, morfológiai evolúció, az élővilág rövid története.

A fentiekén kívül a 41 kötelezően választható speciális kollégium (legalább 40 oktatót jelent) egyben a témák óriási diverzitását is mutatja, amelyek közül a hallgatók a számukra legérdekesebbeket látogathatják.

3.1.3 Doktori képzés

A doktori iskolák az alábbi címen jelennek meg:

Etológia (vezetője: Csányi Vilmos),
Elméleti biológia és ökológia (vezetője: Szathmáry Eörs),
Zooszisztematika, szünbiológia, hidrobiológia (vezetője: Dózsa-Farkas Klára).

A Etológia doktori iskolában állatökológia-oktatással veszünk részt. Az Állatrendszertani és Ökológiai Tanszék saját doktori akkreditációjában számos ökológiai kurzus jelenik meg.

3.1.4 Egyéb ökológiai kurzusok

Szünbiológiai tárgyakat oktatunk még a tanártovábbképzésben, környezettan-tanárszakon, biomérnökképzésben és a biológia-földrajz tanárszakon.

4. Kihívások

4.1 Stratégiaváltás

Az 1990-es évek elején kezdődött egy sajnálatosan félreértelmezett reform a felsőoktatásban, amelyre az volt a jellemző, hogy a korábbi „K-stratégista” képzésünket át kellett alakítani „r-stratégistává”. Ez az alábbiakat foglalja magában:

K-stratégista-képzés:

- kevés, jó képességű hallgatót vettünk fel,
- magas színvonalon oktatuk őket, elegendő számú oktatóval,
- a képzés alapos volt, biztos elméleti és bőséges gyakorlati háttérrel,
- ezt magas szintű infrastruktúrával (műszerezettséggel) értük el.

Az eredmény: kevés, de kiváló, külföldön is helytálló kutatónak adtunk hivatást.

r-stratégista-képzés:

- sok, közepes képességű hallgatót kell felvennünk,
- alacsonyabb színvonalon oktatunk, hely-, oktató-, pénz- és műszerszűke miatt,
- elmarad a pénzigényes gyakorlati képzés, inkább az elméleti órák dominálnak,
- oktatóink relatív hiányban vannak a hallgatói létszámhoz képest.

Az eredmény: közepszerűség, szemléletet adunk, de biztos és alapos tudást nem.

4.2 Kisebb anyagi támogatás

Egy olyan normatíva került bevezetésre, amely irreálisan alacsony, ráadásul évekig nem változott. Növeltük a hallgatói létszámot, amelynek eredménye az lett, hogy pénzünk ugyan nem lett több, de gondunk annál inkább. A sok hallgató képezésére más forrásokból csoportosítunk át pénzeket, többek között OTKA-, OMFB- stb. forrásokból, amelyek ilyen célra nem engedélyeznek ráfordítást. Például az ELTE Biológus Tanszékcsoportja 40 mFt-ot költött az állami támogatáson kívül az oktatásra az elmúlt 3 évben egyéb forrásokból. Sajnos, konklúzióként csak azt vonhatjuk le, hogy ez a rendszer a minőség rovására, a közepszerűsége szelektál. Természetes, hogy az egyetemi végzettségűek nagyobb részesedése a teljes populációban pozitív állami célkitűzés, de egy tisztességes egyetemi oktató erkölcsével a színvonal egyidejű csökkentése nem egyeztethető össze.

Pénzek oktatási célokra fordítása kutatási pályázatokból azt is jelenti, hogy nem tudjuk jól teljesíteni a pályázatokban vállalt feladatokat, vagyis egy idő után nem fogunk pénzt kapni a kutatásainkra, és így nem lesz miből finanszírozni az oktatást sem. Az ördögi kör bezárulása egyaránt kihat a kutatás és oktatás minőségére. Az ELTE-n folyó kutatások minősége nem marad el az MTA-intézetekben végzett kutatómunka színvonalától. A plusz teher, amelyet az egyetemi oktatóknak vállalniuk kell, az előírt heti 20 oktatási óra. A távlati kormányzati célok között szerepel az egyetemek kutatóegyetemekké alakítása, amely a fentebb leírt körülmények között meglehetősen irreális cél. A magas szintű oktatás-kutatás csak magas szintű oktatás-kutatási támogatás mellett lehetséges. Ennek felismeréséig azonban az illetékesek még nem jutottak el. A fentiekből következik, hogy a tehetséggondozás, a minőség elismerése nincs megoldva a jelenlegi képzési rendszerben.

4.3 Magyar nyelvű tankönyvek

Szemben a nyugati egyetemek egy jelentős részével, az eredeti angol ökológia-szakkönyvek (2, 3) használatára nálunk nincs lehetőség, mert a hallgatók nyelvi tudása a tárgy oktatása idején még nem kellő szintű. Erre azonban nem is bizonyos, hogy szükség lenne. Véleményünk szerint ajánlható a hallgatók számára, hogy minél többféle felfogást és forrást ismerjenek meg. De az is jogos irányelv, hogy minden kutató és oktatóműhely a maga sajátos felfogásában mutasson be egy tudományterületet. Magyarország abban a kedvező helyzetben van, hogy a Juhász-Nagy Páltól kapott örökség birtokában az ökológiakutatás és -oktatás nem kell hogy az alapoktól kiindulva keresse a szemléletmódját (4, 5). Ez az örökség ugyanakkor kötelez is arra, hogy a szellemével átitatott tananyag legyen elérhető.

Az igaz, hogy a magyar hallgatók közül sokan már az egyetemi tanulmányok ideje alatt is megfelelő nyelvi tudással rendelkeznek, de a többség nem. A szemináriumi foglalkozásokon emiatt a hallgatók csak egy szűkebb csoportjának, egyes témakörökben adhatók ki idegennyelvű cikkek, amelyekből felkészülhetnek önálló előadásokra. Ennek ellenére nem nélkülözhető egy jól tanítható jegyzet (6). Az ELTE-n 1997-ben jelent meg az *Állatökológia* jegyzet, amely tudásunk szerint más egyetemeken is kisebb-nagyobb mértékben használatba került. Szükség van egy tankönyvre is, mely a szűkebb kollégium anyagán túl is képes az érdeklődőknek, a jobb képességűeknek, illetve a doktoranduszoknak teljesebb és magasabb szintű forrást biztosítani.

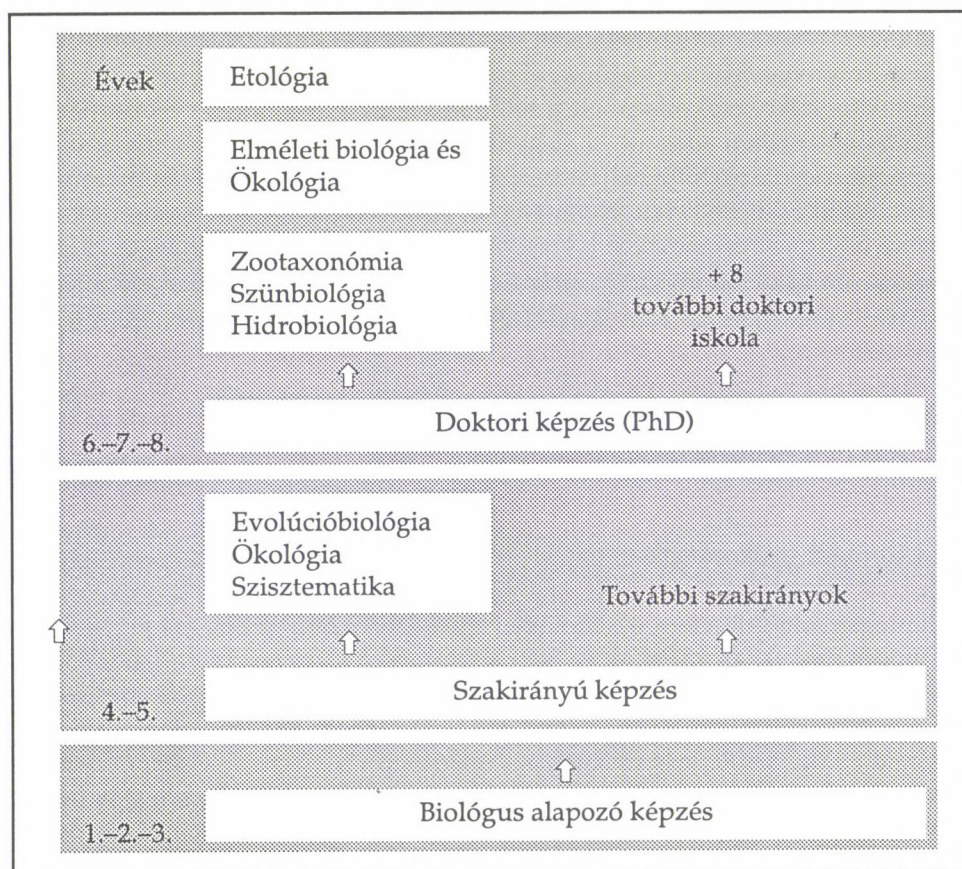
Várható az is, hogy a Növényökológia, valamint az egyes szakirányú tárgyak anyaga (Közösségi ökológia, Viselkedésökológia) előbb-utóbb akár házi használatú, akár más jellegű írásos formában megjelenik.

4.4 Ökológia gyakorlatok

Különleges kihívást jelent az ökológiai gyakorlatokhoz szükséges jegyzet, de különösen maguknak az ökológiai gyakorlatoknak a megszervezése, lebonyolítása. Az ELTE Állatrendszertani és Ökológiai Tanszékén, pályázati rendszer keretében már elkészült az ökológiai gyakorlatok leírása. Ezek részletes kifejtésre kerültek, de a gyakorlati jegyzet csak kézirat formában van. Jelenleg gyűjtjük össze a tapasztalatokat a végleges forma kialakításához. Már most nyilvánvalóvá vált, hogy az oktatási szerkezet nem teszi lehetővé a hallgatók ökológiai szemléletmódját kellő hatékonysággal formáló gyakorlatok beiktatását. Ennek egyik fő oka a rendelkezésre álló idő hiánya. Az ökológiai történések ugyanis rendszerint sokkal több időt igényelnek, mint amennyi a gyakorlatok keretében rendelkezésre

áll. A másik fontos ok a jelenleg elégtelen infrastrukturális környezet (műszerek, intézmény, eszközök stb. hiánya), amely alkalmatlan a háttérmechanizmusok modern eszközökkel való és gyors feltárásához, bemutatásához. Sajátos problémát jelent, hogy 2001-től új környezetben kezdik meg a biológusok is munkájukat, de a szabadföldi infrastruktúra így sem oldódik meg.

Jelenleg 4 helyen folyik az ELTE szabadföldi ökológiai gyakorlati képzése: Juniperus Kutatóház Bugacon, MTA NKI Kísérleti Telepe Julianna-majorban, Baradla Talajökológiai Barlanglaboratórium Aggteleken és a Pilis Ökológiai Kutatóbázis a Pilis hegységben.



2. ábra. A biológus oktatás szerkezete az ELTE-n

4.5 Kutatásfejlesztés

A kutatásfejlesztés szerves része az oktatásnak, mert az egyetemi oktatók kutatómunkájuk eredményeit és annak tágabb összefüggéseit a hallgatókkal megismertetik. Mi több, ez lenne az elsődleges mód az arra érdemes hallgatók tudásszintjének növelésére. Sajnos erre a célra nem kapunk központi támogatást, ezért – más tanszékeken is – a pályázatokban szerzett összegek egyre nagyobb hányada kerül át az oktatásba.

Ugyanezzel függ össze a tanszéki oktatói állomány utánpótlás-problémája, amelyet mi a *kihálás kihívásának* nevezünk. Az álláshiány miatt az „újulat” befogadása gyakorlatilag lehetetlen, így az oktatói populáció folyamatos elöregedése várható. A PhD-képzés valamelyest elodázza az álláshiány problémáját, de a végzett, immár minősített kutatók közül gyakran a legtehetségesebbek megtartására sincs esély. Így sokéves tanulás és tanítás eredménye vész kárba, nem beszélve az egyéni életpályák derékba töréséről, a tehetség pazarlásáról. Ezen egy széles körű, nagy befogadóképességű posztdoktori ösztöndíjrendszer változtathatna. Sajnos jelenleg, tekintettel arra, hogy az ELTE TTK-nak többszáz milliós bérihiánya van, az oktatói állomány fejlesztése helyett a leépítés irányába haladunk.

5. Közös átgondolást igénylő javaslatok

1. Az ország érintett egyetemei tegyenek közösen lépéseket arra, egységes koncepció kidolgozásával, hogy számos külföldi egyetemhez (például Princeton, Oxford stb.) hasonlóan, kutatási tevékenységünk is, mint az oktatást szolgáló tevékenység, a főhatóság által elismert legyen és egyben központilag finanszírozott is. Kerüljön megállapításra az oktatásra és kutatásra fordítható idő. Ez nem az oktatói állomány csökkentését, hanem szinten tartását vagy növelését teszi szükségessé.

2. Javasolható, hogy szülessenek *közös pályázatok* a JATE, KLTE, JPTE, valamint az ELTE és más felsőoktatási intézmények közreműködésével a szünbiológia-oktatás finanszírozására, javítására a Művelődésügyi Minisztérium felé. Szomorú tény, hogy csak ilyen utak látszanak járhatónak az államilag deklarált feladataink tisztességes ellátására.

3. Közös pályázatok *on-line elérhető szünbiológiai irodalombázisok* megszerzésére és rendszeres elérésére. Egyetemközi összefogással sikeresebben pályázhatunk e cél érdekében, például az OTKA két éve bevezetett könyvtárpályázata keretében.

4. Közös gondolkodásra való felhívás az eddig is magas minőségű *képzésiünk további fejlesztésére, az egyetemközi áthallgatások megszervezéséhez és egységes kreditrendszerrel való elismertetéséhez.*

5. Égető közös gondunk az *utánpótlás* hiánya. Együttesen próbáljunk fellépni a csonkára sikerült doktori képzés kiteljesítéséért, vagyis hogy a legjobbak közül, akik bekerültek a doktori képzésbe, a legkiválóbbakat meg tudjuk tartani az egyetemeken. Ennek a célnak az elérése várhatóan nagy nehézségekbe fog ütközni.

6. Közös megoldást kellene találni arra, hogy a nívós szünbiológiai doktori munkákat vagy az e témában működő doktori iskolákban született, illetve születő disszertációk kivonatait jelentessük meg és tárjuk a nagyközönség elé.

7. Minél nagyobb közönség ismerje meg a magyar felsőoktatás helyzetét annak a téves hitnek az eloszlatása céljából, hogy a hallgatók megfelelő színvonalú képzése csak az egyetemek és főhatóságai közötti belső ügy. A társadalom intellektuális szintje e területen minden más területnél élesebben tükröződik, és viszont: az oktatás hatása a legközvetlenebbül érvényesül.

*

Megköszönjük dr. Réz Gábornak, az ELTE TTK biológusoktatási referensének, hogy adatokkal segítette a közlemény elkészülését.

Irodalom

- (1) Priszter Sz. (szerk.): *Az Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Karának története 1635-1985*. Az ELTE kiadványa, Budapest, 1991.
- (2) Begon, M., J. L. Harper & C. R. Townsend: *Ecology. Individuals, Populations and Communities*. 2nd ed., Blackwell Sci. Publ., Boston, 1990.
- (3) Krebs, C. J.: *Ecology. The Experimental Analysis of Distribution and Abundance*. 3rd ed., Harper & Row, Publ., New York, 1985.
- (4) Juhász-Nagy P.: *Egy operatív ökológia hiánya, szükséglete és feladatai*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1986.
- (5) Juhász-Nagy P. és Vida G.: Szupraindividuális organizáció. In Csaba Gy. (szerk.) *A biológiai szabályozás*. Medicina Kiadó, Budapest, 1978.
- (6) Szentesi Á. és Török J.: *Állatökológia*. ELTE TTK, egyetemi jegyzet. Kovásznai Kiadó, Budapest, 1997.

Ökológiai oktatás infrastruktúra nélkül

Az előzményekről és a szegedi előzmények hiányáról

Az elmúlt években a megszokott, „mindenki által szakértett” területekhez (orvoslás, labdarúgás, pedagógia, politika stb.) felzárkózott a környezetvédelem. Az 1960-as, 1970-es években kicsiny hazánkban még alig megtört, lenézett és – ki kell mondanunk – üldözött ökológia hirtelenjében divatba jött, és „sikessé vált”. Miután sokak szegényes és körülhatárolt képzetében az ökológia a környezetvédelemmel azonosul, márpedig ez utóbbihoz minden *background* és gátlás nélkül is érteni illik – nosza, az eddigi derék „környezettudósok” hirtelenjében ökológussá metamorfizálódtak, életre hívva ezzel olyan diszciplínákat és fogalmakat, mint a politikai, társadalmi, történeti, közgazdasági, karszt- stb. ökológia, tájökológiává keresztelték a tisztességes tájföldrajzot, bár ezt a földtudósok (vö. Marosi, 1999) sem fogadják el egyértelműen, a biológusok pedig háborognak. Hiába az eredeti definíciók (Haeckel, 1866, 1879), Juhász-Nagy (1970, 1986) okos figyelmeztetései és zseniális, operatív definíciója, az MTA Ökológiai Bizottságának egyértelmű állásfoglalása, a szélhámosság és áltudomány szélesen hömpölygő folyamán boldogan hajózva, e divatos és paradox módon éppen ezért szerencsétlen biológiai tudományból hol filozófiát, hol szociológiát, hol pedig környezetvédelmet csinálnak, nem riadva meg annak a kétségbevonásától sem, hogy Haeckel biológiának szánta azt (pedig az eredeti definíciókat megerősítve lásd: Haeckel, 1899), és – *horribile dictu!* – nem áttallanak olyan meghatározásokkal előhozakodni, miszerint például az ökológia holisztikus gondolkodási képességet jelent. Elképzelhető, milyen hatású tanítványainkra, ha az egyik előadáson, mondjuk, Juhász-Nagy kristálytiszta logikájú elméletét és az Ökológiai Bizottság állásfoglalását hallják, a következőn pedig a félreértelmezések és ferdítések valamelyikével rombolják mindazt, amit amott hallottak.

Mindezek nem egyetlen intézmény, hanem általában hazai, sőt a nemzetközi ökológiai felsőoktatás gondjai. Az elméleti alapozás tekintetében jobb helyzetben vannak ott, ahol a terepbiológiának jelentős, például soói, dudich-i, balogh-i, woynárovich-i, jakucsi hagyományai vannak. Egy Kolosváry, egy Bodroghözy és egy Horváth – ez jelentette az 1950-es és 1960-as évek szupraindividuális biológi-

ai palettáját Szegeden, ahol viszont Apáthy, Gelei, Szent-györgyi, Ábrahám és Greguss hagyományain építkező infraindividuális iskolák modern kiteljesedéseként az 1970-es évek elején létrejött hazánk biológiai szuperintézete, a Szegedi Biológiai Központ. Hogy ott miért nem kapott helyet az 1960-as években már a jövő század tudományának prognosztizált ökológia – ne firtassuk! A szegényes hagyományok ismeretében nem csoda viszont, hogy a szupraindividuális biológia léte sokáig mintegy elkerülte a szegedi, biológiával kapcsolatos kérdésekben döntési helyzetben levők figyelmét. Egyedül a számos ökológiai kutatási témát is felölelő komplex táj kutatás, a Tisza-kutatás működött lelkesen és töretlenül. Ennek keretében alakult ki Kolosváry hallgatói iskolája. Kolosváry nagy tudós és nagy tanár volt: a Tisza-kutató utakon és otthonában tartott beszélgetései nemcsak személyét hozták közel, hanem szemléletet is adtak. Ehhez járult Horváth Andor ugyancsak rokonszenves tanítói működése. A Kolosváry-iskola eredményességére mi sem jellemzőbb, mint hogy például az 1960-as évek közepén, a mester halála előtti időszakban az állatrendszertani diákkör 15 hallgatójából később 12 lett kutató vagy egyetemi–főiskolai oktató, négyen akadémiai doktori, hatan pedig kandidátusi vagy PhD-fokozatot szereztek, igaz, hogy többen az akkori kényszerfeltételek hatására módosított pályán.

Az ökológia oktatásának kezdetei

A kezdeti, bátortalan lépések az 1960-as évek második felére tehetők, amikor Bodrogyó és Horváth saját szakállukra a növény- és állatföldrajz tantárgyak keretében vagy terepgyakorlatokon csepegtettek fitocönológiai és állatökológiai ismereteket. Néhány év múlva elkezdődtek az egyhetes ökológiai terepgyakorlatok. Az 1970-es évek elején az addig a megfelelő biogeográfiai diszciplínákkal társított növény- és állatökológiát egységes, az akkori divatnak megfelelően – ne feledjük, ekkor volt az IBP európai zenitje! – környezetbiológia váltotta fel. Hatalmas vívmány volt néhány évvel később az ökológiai szakirány, majd az ökológuságazat beindítása, ez utóbbi keretében hallgatónk indexében szerepelt az ökológia, és külön ökológus-államvizsgát tartottunk.

Az Ökológiai Tanszék

Az elmúlt évtized végére megérett a helyzet egy önálló, szegedi tanszék létrehozására. Ekkorra már sorozatosan létrejöttek a JATE-n a molekuláris és egyéb infraindividuális tanszékek (például összehasonlító élettan, mikrobiológia, biokémia, biofizika, genetika, biotechnológia). A kevés szünbiológus pedig a Növénytan és Állattani Tanszékeken belül is elszigetelten dolgozott, olyan diszciplínákkal körülvéve, amelyeket infracelluláris szinten műveltek, így a minimum populációkkal

foglalkozó két ökológus kisebbség csak egymásra számíthatott. Ekkor jött létre Móczár és Horváth professzorok segítségével a bugaci team, amely Szeged történetében először kisleptékű, összehangolt, komplex kutatásokat végzett a produktíobiológiai megközelítéstől az elemi interakciókig és a szukcesszióig. A máig folyó hosszú távú kutatáshoz csapatosan csatlakoztak a hallgatók: a program keretében eddig legalább hatvan szak- és diplomadolgozat, egyetemi doktori vagy kandidátusi értekezés készült. 1990-ben az MTA állásfoglalásának és a mikrobiológus professzor önzetlen „katalízisének” eredményeképpen megalakult a József Attila Tudományegyetem Ökológiai Tanszéke. A bugaci teamből létrejött oktatói gárdáját részben az állattani (6 fő), részben a növénytani (1 fő) katedrától kapta. Az eleinte kétfős segédszemélyzet a biológus kollégák önzetlen segítőkészségének eredményeképpen háromra emelkedett. Az új tanszéket örömmel üdvözölte az MTA, a két minisztérium és más egyetemek oktatói. Az Ökológiai Tanszék feladata a szünbiológiai tárgyak döntő többségének, valamint a zootaxonómiának az oktatása. Nagyon fontos lépés volt a „Természetvédelmi ökológia” PhD-program létrehozása, melyben a JATE gárdája mellett szerepet kaptak a KLTE, az ELTE, az MTA ÖBKI, MTM és az SZBK oktatói, kutatói is. Ugyancsak jelentős állomás az ökoteknikai európai képzés bevezetése. Ez utóbbi keretében nemcsak nemzetközi oklevelet kaptak részt vevő hallgatóink, hanem mintegy 65 hallgatónak biztosítottunk több hónapos külföldi tanulmányutat.

A jelen szomorú realitásai és a jövő halvány reménye

A kezdeti eufória nem folytatódott. A tanszék jó ideig költségvetés nélkül tengődött, ezen a normatív finanszírozás némileg segített. Léte és fennmaradása kezdetől szinte kizárólag külső forrásoktól függ, közel kilencéves működése folyamán egyetlen fillér segítséget, egyetlen négyzetméter helyet és egyetlen állást sem kapott. A Bokros-csomag egy oktatói helyet még el is vitt.

A néhány éve bevezetett tantervi hálóban (lásd 1. táblázat) az addigi molekuláris-biotechnológus és ökológus ágazatot sokoldalú szakirányi specializáció váltotta fel. Ennek viszont ára az ágazati képzés és a kétféle (ökológus és molekuláris biológus-biotechnológus) diploma eltűnése. Az első három év alapképzésében a szupraindividuális tárgyak relatív súlya csökkent, de a tanári hálótérvekben sikerült magasabb évfolyamokon kötelezővé tenni az ökológia mellett az etológia, természetvédelem és biogeográfia oktatását is. A főtárgyakból és melléktárgyakból álló kétéves specializáció szünzoológiai és szünbotanikai tantárgyblokkokat ölel fel, a melléktárgyak bőséges választékával a rovartantól az emlősök adaptációjáig, az evolúciógenetikától a természetvédelmi biológiáig. Veszteség volt egy kollégánk távozása, aki tanszékvezetői beosztást kapott az ÁOTE-n. Sikerült azonban helyében olyan adjunktus alkalmaznunk, aki az addig

A Szegedi Tudományegyetemen oktatott, ténylegesen vagy nevük szerint szünbiológiai tárgyak és az Ökológiai Tanszék egyéb kurzusai.

Tárgy	Ö. T.	b. t.	b.	k. t.	kk.	szk.	PhD
Zootaxonómia	+	+	+				+
Állatismeret	+			+	+	+	
Ökológia	+	+	+	+	+	+	
Etológia	+	+	+SZ.	+SZ.	+SZ.		
Biogeográfia	+/-	+	+SZ.	+	+		+
Természetvédelem	+	+	+SZ.	+	+	+	+
Természet- és tájvédelem	+			+			
Szünbotanika	+	+SZ.	+SZ.				+
Növénycönológia	+		+SZ.				+
Növényi szünmorfológia	+		+SZ.				
Szünzoológia	+	+SZ.	+SZ.				+
Adaptáció az emlősöknél	+		+SZ.				
Együttélés az állatvilágban	+		+SZ.				
Ízeltlábúak rendszertana	+		+SZ.	+SZ.			
Viselkedésökológia	+	+SZ.	+SZ.				
Növényvédelmi állattan	+		+SZ.				
Ornitológia	+/-		+SZ.				
Parazitológia	+/-		+SZ.				+
Talajzoológia	+/-		+SZ.				+
Táplálkozási stratégiák	+		+SZ.				
Ált. zootaxonómia	+		+SZ.				+
Természetvédelmi biológia	+		+SZ.	+	+		+
Mikrobiális ökológia	-		+SZ.				+
Természeti értékek M.o.-on	+		+SZ.				+
Hidrobiológia	+/-		+SZ.				
Paleoökológia	-		+SZ.	+SZ.			
Ökológiai módszerek	+		+SZ.				
Biodiverzitás-monitoring	+			+	+	+	
Term.véd.-i ornitológia	+/-			+SZ.	+SZ.		
Ökotechnika	+			+SZ.	+SZ.		
Populációgenetika	+		+SZ.	+SZ.	+SZ.		
Mezőgazd. ismeretek	+/-					+	
Erdészeti ismeretek	+/-					+	
Fenotipikus variabilitás							+
Vegetációdinamika	+/-						+

Tárgy	Ö. T.	b. t.	b.	k. t.	kk.	szk.	PhD
Általános myrmekológia	+						+
Általános populációbiológia	+						+
Kölcsönhatások és közösségek	+						+
Tájökológia	–			+	+		
Tájökológiai tervezés	–			+	+		
Városökológia	–			+	+		
Karsztökológia	–			+SZ.	+SZ.		

Ö. T.: az Ökológiai Tanszék által előadott tárgyak; b. t.: biológianár szak; b.: biológus szak; k. t.: környezettan-tanár szak; kk.: környezetkutató szak; szk.: szakképzés; PhD: doktori képzés; sz.: szakirányi képzésben szerep-lő tárgy. Vastag betűvel azon tárgyak szerepelnek, melyek legalább egy alapképzésben kötelezőek, vagy szak-irányi főtárgyak, a dőlt betűs tárgyak a biológustanár-képzés második ütemében kötelezőek

szegedi hiányterületeket jelentő etológiát, viselkedésökológiát, populációgene-tikát adja elő. Így maradt a 6 fő oktató.

Az oktatási feladatok pedig óriásiak. A biológusok és leendő biológianárok mellett igen nagy szerepet vállalunk a környezettanárook, a most induló kör-nyezetkutatók (itt van egy természetvédelmi biológiai szakirány is), a posztgra-duális környezetvédők, a természetvédelmi technológusok és a PhD-hallgatók képzésében is. Az Ökológiai Tanszékre háruló terheket más tudományegyeteme-ken 2–4 tanszék látja el, egyenként is hasonló létszámmal. Oktatóként átlagosan 7-8 (bár részben átfedő) kurzust tartunk, a fejenkénti heti óraszám e félévben 21(!), a PhD-, szak- és diplomadolgozati konzultációk nélkül. E helyzeten csak némileg segít a doktoranduszok bevonása a gyakorlatok tartásába.

Az infrastruktúra egyszerűen hiányzik. A tanszék alig kétszáz négyzetmétere az Állattani és Sejtbiológiai Tanszék két része közé ékelődött. A többszörösére növekedett hallgatói létszám igényeit képtelen kiszolgálni. Nincs tanterem, nincs hallgatói laboratórium. A néhány méteres folyosórészen a következő félévtől két-száz hallgató tanulja majd a taxonómiát. A könyvtár és a gyűjtemény jelentős része a városon kívül, az egykori szovjet laktanya fűtés és villany nélküli két szo-bájában van. Az előbbi az egerek rágják, az utóbbi rendszeresen beázik. Gyakor-latainkat egy elhagyott általános iskola termében tartjuk, melyet nem kaptunk kizárólagos használatra, a felszerelést, anyagokat alkalmanként kell odaszállíta-ni. Nincs megfelelő laboratóriumi hely kísérletek végzésére, ezért kísérletes témá-ink nagy részét kényszerűen leállítottuk. Előfordult, hogy egyik oktatónk egy fél-éven át a város egy távolabbi épületébe nemcsak jegyzeteket, fóliát, diákat és diavetítőt, hanem pokrócot is cipelt a sötétítéshez.

A hallgatót és oktatót egyaránt igénybe vevő, mindkét részről megalázó és méltánytalan helyzet oka egyszerű: huszonöt éve folytatásra váró, félkész az SZTE

biológiai épülete befejezésének terveire mintegy öt éve az egyetem kapott legalább 100 millió forintot. Amikor az tervek elkészültek, az akkori kormányzat közölte, hogy az építkezést nem engedélyezi. Az így elveszett 100 millióból pedig a két legrosszabb helyzetben levő biológiai tanszék problémáját megoldhattuk volna.

A jelenlegi egyetemi vezetés ismeri és megérti a problémákat, olykor felvillan egy-egy reménysugár, de kérdés, hogy a kubatúráért folyó ádáz küzdelemben az ökológus kompetitív stratégiája kielégítő-e.

Quo vadis?

Fejlesztés, fejlesztés, fejlesztés

A szegedi ökológusokra háruló nagy terhek tehát onnan származnak, hogy a létszám és a kubatúra nem kielégítő, hiszen átnézve nyolc nyugat-európai ország (Ausztria, Belgium: flamand, Belgium: vallon, Dánia, Spanyolország, Franciaország, Olaszország és Svédország) egyetemeinek kurrikulumait (vö. Susanne, 1995), kiderül, hogy a biológiai oktatásban kettő kivételével szignifikánsan nagyobb a szupraindividuális kurzusok aránya, mint az SZTE-n, ráadásul erős szignifikanciával (az esetek többségében $p < 0,001$, khi-négyzet teszt), sőt a környezettani és környezetkutató képzésünk biológiai részében is az esetek mintegy felében nincs jobb arány, mint külföldön a biológiai alapképzésekben! A fentebb említett nehézségek ellenére a szünbiológiai oktatás Szegeden tehát további bővítést igényel! A teljes szegedi biológiai képzés „átökologizálása” értelmetlen, hiszen az SZBK a molekuláris képzéshez olyan bázist jelent, amit bűn lenne kihasználatlanul hagyni. Vissza kell állítani viszont a diplomát adó specializált (ágazati) képzést nemcsak ökológiai, hanem legalább még két-három irányban. Ezzel biztosíthatnánk a normális arányokat, viszonylag kevés többletráfordítással.

Regionális ökológiai centrum

Szeged helyzete mindenben adott ahhoz, hogy regionális ökológiai centrummá váljék. Az Ökológiai Tanszék a dél-alföldi régió két nemzeti park szomszédságában levő, egyetlen ökológiai főprofilú kutató- és oktatóhelye, kutatási témái és oktatási profilja alkalmassá teszik a határokon túli együttműködésre is. Kolozsvárról már jelenleg is csoportosan jönnek a hallgatók ösztöndíjas részképzésre és doktorálni, de az Újvidéki Egyetemmel és természetvédőkkel is hagyományosan jó a kapcsolatunk. A közös oktatási programok (például ökológiai szabadegyetemek) és kutatási témák (például tájökológiai és regionális témáink közül a folyók

és homokdűnések kutatása) erre jó lehetőségeket teremtenek. A vendégek fogadásához azonban laboratóriumi és könyvtári kubatúra kell!

Szegedi kooperáció

Az imént körvonalazott regionális centrum működtetéséhez nemcsak külső és külföldi együttműködésre, hanem belső kooperációra is szükség van. A Szegedi Tudományegyetem jó lehetőséget biztosít arra, hogy vizsgálatainkat és oktatásunkat kiterjesszük a SIO-jelenségek és -mechanizmusok molekuláris értelmezése felé, bővítsük a már eddig is jó kooperációt a TTK és a JGYTF egyéb biológiai és földtudományi tanszékeivel, az oktatás területén elsősorban a tematikák és koncepciók egyeztetésével, ezzel elkerülve a bevezetőben már emlegetett, nálunk is jelentkező problémákat.

Oktatási anyagok, publikációk

A hazai szünbiológiai oktatás néhány hasznos jegyzettel, illetve könyvvel (Majer, 1994; Szentesi és Török, 1997) gyarapodott, ehhez Szeged is hozzájárult (Körmöczy, 1992; Margóczy, 1998), de még mindig hiányérzetünk van. Ezért jelenleg készül egy viszonylag komprehenzív szegedi szünbiológia, melynek megjelenése ez évben várható. Ugyancsak jelentős oktatási vonatkozásai vannak két rendszeres tanszéki kiadványunknak. A *TISCIA* nemzetközivé lett ökológiai folyóirat. A már harmadik számánál tartó *Ökológiai füzetek* viszont hallgatóink rövid, nagyrészt terepgyakorlati dolgozatait tartalmazza. Mindkét kiadvány fenntartását és fejlesztését szorgalmazzuk.

Kitekintés, Szegeden túlra

Egyetlen oktatóhely, kutatóhely vagy éppen regionális centrum sem létezhet önmagában, elszigetelten. Amikor a szünbiológiában felismerték a lokalitás-regionalitás összekapcsoltságának szükségességét, és megteremtették a makroökológiát, szűklátókörűség lenne a Kárpát-medencére vagy éppen a teljes kelet-közép-európai régióra kiterjedő ökológiai hálózat és együttműködés elmulasztása vagy éppen elutasítása. Ezt a hálózatot pedig a kutatóintézetek, oktatási intézmények és a természetvédelem hármas komplementaritására kell alapozni, úgy, hogy abban a három terület érdekei egyaránt megjelenjenek. Mindehhez egy olyan, az oktatási és a környezetvédelmi tárcákat, valamint az Akadémiát egy-

aránt felölelő programra van szükség, amely megteremti az ökológia utánpótlásának a 21. század tudományához méltó feltételeit.

Irodalom

- Haeckel, E.: *Generelle Morphologie der Organismen*. Reimer, Berlin, 1866.
- Haeckel, E.: Über Entwicklungsgesang und Aufgabe der Zoologie. *Jenaische Z. Med. Naturwiss.*, 1870, 5, 353–370.
- Haeckel, E.: *Az élet csodái*. Jéna, 1899.
- Juhász-Nagy P.: Egy operatív ökológia hiánya és szükséglete. *MTA Biológiai Oszt. Közleményei*, 1970, 12, 441–464.
- Juhász-Nagy P.: *Egy operatív ökológia hiánya, szükséglete és feladatai*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1986.
- Körmöczy L.: *Ökológiai módszerek*. JATE Press, Szeged, 1992.
- Majer J.: *Az ökológia alapjai*. Szaktudás, Budapest, 1994.
- Margóczy K.: *Természetvédelmi biológia*. JATEPress, Szeged, 1998.
- Marosi S.: A földrajzi táj kutatások összetettsége és alkalmazhatósága. In *Székhoglalók Magyar Tudományos Akadémián, 1995–1998*. 2. kötet. Szerk.: Glatz Ferenc. Budapest, 1999. (Akadémiai Műhely.)
- Susanne, C.: *Evaluation of Biology in European Union*. VUBPress, Brussels, 1995.
- Szentesi Á., Török, J.: *Állatökológia*. Kovásznai, Budapest, 1997.

DÉVAI GYÖRGY, LAKATOS GYULA,

VARGA ZOLTÁN

A szünbiológia oktatásának stratégiai kérdései debreceni perspektívából

Szakmai körökben, sőt az érdeklődő kívülállók előtt is egyaránt közismert, hogy a szünbiológia s ezen belül az ökológia oktatásának és kutatásának egyik hagyományos fellegvára Debrecen, ott pedig a Kossuth Lajos Tudományegyetem. Ez korántsem véletlen, hiszen az ilyen szemléletű oktató- és kutatómunkának nálunk komoly hagyományai vannak. S mivel a jelent nem lehet a múlt ismerete nélkül jól megérteni, először néhány mondatban a gazdag előzményekről szólunk.

A gyökerek igen messzire nyúlnak vissza, gondoljunk csak például a reformáció kori Debrecen kiemelkedő egyénisége, Méliusz Juhász Péter úttörő munkájára, az 1578-ban megjelent *Herbariumra*. A Debreceni Református Kollégiumban, amelyet szellemi és szakmai elődünknek tekintünk, igen sok kitűnő szakember művelte a biológiát, mint például az igazi polihisztor s így botanikát is oktató Hatvani István vagy Weszprémi István. Hatásukra vált például Tessedik Sámuel a korszerű mezőgazdaság előhírhökévé, Földi János pedig a felvilágosodás kori híres Debreceni Kör egyik alapítójává. E pezsgő tudományos műhely tevékenységét szakmánk szempontjából a Diószegi Sámuel és Fazekas Mihály által írt, a botanika hazai kibontakoztatásában mérföldkőnek számító, 1807-ben kiadott *Magyar Fűvész Könyv*, majd a Diószegi Sámuel tollából származó, 1813-ban megjelent *Orvosi Fűvész Könyv* című munkák is fémjeleznek.

A Debreceni Egyetemet 1912-ben alapították, de a Természettudományi Kar csak 1949-ben alakult meg. Az előzményeknek azonban minden bizonnyal komoly szerepe volt abban, hogy a Bölcsészettudományi Kar keretén belül a biológiát is tartalmazó természetrajz-oktatás a természetrajz-tanári szak keretében már az 1925–1926-os tanévben elkezdődött. Először a két fő diszciplínát, az állattant és a növénytant együtt és ugyanaz a személy, Szilády Zoltán egyetemi magántanár oktatta. Hamarosan azonban mindkét szakterület önállósodott, s nagy hatékonyságú tanszékké szerveződésükben jelentős szerepe volt az élükre kinevezett professzoroknak, Hankó Bélának és Soó Rezsőnek, akik mai mércével

mérve is mindketten a szünbiológiai szemlélet korszakos előfutárai voltak. Utódaik, az 1950-es évek nagyon nehéz körülményei között navigáló Zilahi-Sebess Géza és Haraszty Árpád sem hagyták feledésbe merülni ezt az irányvonalat, ami azután a 1960-as években új lendületet vett.

1961-ben nevezték ki az Állattani Tanszék élére Woynárovich Eleket, aki először speciálkollégiumként oktatta a hidrobiológiát, majd kezdeményezésére 1966-tól lehetővé vált a biológiatanári szak mellé – a korábbi szakpár második szakjának, a földrajznak vagy a kémiának az elhagyásával – a hidrobiológia szak felvétele is. Debrecenben, ahol biológiából korábban csak kétszakos, illetve külön engedély alapján ritkán egyszakos tanárokat képeztek, ez volt a csírája a szünbiológus-szakképzésnek. Ez a szakképzési forma Woynárovich professzor 1968-tól kezdődő hosszabb külföldi megbízatása után is folytatódott, Szabó Jenő vezetésével, akinek ilyen irányú törekvéseit 1970–1972 között a főleg paleontológiai és evolúciobiológiai érdeklődésű, de kitűnő szupraindividuális szemléletű Kretzoi Miklós tanszékvezető is hatékonyan támogatta.

A Növénytani Tanszéken az 1969-ig ott dolgozó Juhász-Nagy Pál munkássága és szellemi kisugárzása volt szakmánk fejlődése szempontjából döntő jelentőségű. Ne felejtjük el, hogy az 1970-ben megjelent, korszakváltást jelentő cikk („Egy operatív ökológia hiánya és szükséglete. Első rész. A hiány és a »negatívumok«”) még Debrecenben készült, amint erről az 1975-ben kiadott, a KLTE TTK 25 éves jubileumi kötete is megemlékezik („...sikerült kidolgozni a színbiológia egy újfajta alapozását, a szupraindividuális organizációval kapcsolatos alapjelenségek bizonyos osztályainak – például diverzitás, asszociáltság stb. – elméletét, illetve sikerült ezek operatív vizsgálatára hatékony, főképpen információelméleti modellrendszereket szerkeszteni.” – vö. Haraszty Árpád és Jakucs Pál: Növénytani Tanszék. In Csikai Gyula [szerk.]: *25 éves a Kossuth Lajos Tudományegyetem Természettudományi Kara, 1949–1974*. A KLTE Természettudományi Karának kiadványa, Debrecen, 1975, 73–84.).

Woynárovich Elek és Juhász-Nagy Pál távozásával érzékeny veszteség érte nemcsak szűkebb szakterületünket, hanem az egész debreceni biológiát is. Szerencsére nem maradtunk hosszú ideig elismert és elhivatott vezető nélkül, hiszen 1969-től elkezdte debreceni előadásait Jakucs Pál, akinek 1972-ben a Növénytani Tanszék vezetőjévé történt kinevezése alapvető fordulatot jelentett a Biológiai Tanszékcsoporthoz életében. Jakucs professzor elkötelezetten, igen nagy lelkesedéssel és óriási munkabírással kezdett hozzá szakmai elképzelései megvalósításához, amelyek között a korszerű szünbiológiai-ökológiai oktatás és kutatás feltételeinek megteremtése mindig kiemelt fontosságú volt.

Oktatási téren először a biológiatanár szak ökológia tananyagának korszerűsítésére került sor, majd az 1975–1976-os tanévben a szakbiológus-képzés keretében megindult az ökológus-szakirányú képzés, amibe specializációs irányként

beolvadt a hidrobiológus-képzés. Az első évfolyamok 10 fős létszáma fokozatosan nőtt, jelenleg már 20–40 ökológus hallgatót veszünk fel és bocsátunk ki évente. Az ökológusképzés biztosabb intézményi, személyi és anyagi hátterének megteremtését szolgálta az Ökológiai Tanszék létrehozása – az országban elsőként Debrecenben – 1979-ben, majd az ökológiai oktatási épület átadása 1991-ben. A szünbiológia szakterületének további jelentős megerősödését eredményezte, hogy az Ökológiai Tanszék létrehozása után a Növénytani Tanszék vezetőjévé Précsényi Istvánt nevezték ki. 1998-ban újabb előrelépést jelentett az Alkalmazott Ökológiai Tanszék megalakulása.

Időközben a képzési paletta – részben saját erőből, részben interdiszciplináris együttműködések révén – tovább színesedett. Először a környezettan-tanári szakon indítottuk meg a képzést az 1996–1997-es tanévben, most pedig – 1999 őszén – először veszünk fel hallgatókat a KLTE által kezdeményezett és alapított környezettudományi szakra, amelynek külön ökológus-szakiránya is lesz. Nem hanyagoltuk el a továbbképzési formák indítását sem: először agroökológusokat képeztünk a KLTE és a DATE közötti együttműködés keretében, jelenleg pedig környezetvédelmi ökológus, illetve természetvédelmi ökológus posztgraduális képzést folytatunk. Három országos hatósugarú doktori programunk, a „Biodiverzitás”, a „Terresztris ökológia”, illetve a „Vízi ökológia” nyújt lehetőséget a fiatal szakemberek széles körének arra, hogy az előbbi képzési irányok oktatómunkájába aktívan bekapcsolódjanak, s a szünbiológiai témakörökben további elmélyült tanulmányokat folytassanak. Ezt a sokrétű feladatkört alapvetően három egység, az Ökológiai Tanszék, az Alkalmazott Ökológiai Tanszék, illetve az Evolúciós Állattani és Humánbiológiai Tanszék látja el, természetesen támaszkodva a többi tanszék, elsősorban a Növénytani Tanszék hasonló témakörökkel foglalkozó dolgozóinak aktív részvételére is.

Ez a széles körű összefogás korántsem véletlen, hiszen értelmezésünkben a szünbiológia az élőlények szupraindividuális szerveződési egységeinek (populációinak és populációkollektívumainak) tér-időbeli tömegeloszlási sajátosságait leíró, elemző és értékelő, illetve az ezek kialakulásáért és változásáért felelős okokat feltáró tudomány. A szünbiológia tehát igényli és hasznosítja a többi biológiai tudományterület, sőt a tágabb értelemben vett környezettudományok (environmental sciences) számos módszerét és kutatási eredményét is, s ezáltal nyitott minden interdiszciplináris együttműködésre.

Beszámolónk általános részének lezárásaként – objektív helyzetelemzésre törekedve – sajnos azt is el kell mondanunk, hogy az előbbieken vázolt öröndetes előrelépések nem jártak számottevő személyi és anyagi fejlesztéssel (lényegében mindig a jogelőd tanszékek dolgozóiból és pénzéből vált ki az új egység), s a restriktív politika eddig a mi esetünkben mindig és mindenkor maradéktalanul érvényesült. A mi új egységeink és új képzési formáink többnyire nem kapták

meg azt a támogatást, ami másokat szinte kérés nélkül is megilletett. Éppen ezért szomorú kötelességünknek tartjuk megjegyezni, hogy a megnövekedett és az egyre gyarapodó terheket is tekintetbe véve, teljesítő- és tűrőképességünk határához érkeztünk, s ezen pusztán saját erőből, hathatós külső segítség nélkül nem tudunk változtatni.

Az Ökológiai Tanszék oktatási és képzési feladatai igen sokrétűek. Ez a tanszék felelős a biológiatanár szak és a biológus-ökológus szak szünbiológiai jellegű tárgyainak oktatásáért, a szakképzés koordinálásáért, továbbá a „Terresztris ökológia” doktori program, illetve a „Vízi ökológia” doktori program keretében a „Hidrobiológia” alprogram oktatási és kutatási feladatainak szervezéséért.

A tanszék személyi állománya csekély, az oktatási feladatokat két egyetemi tanár (egyikük nyugdíjas, Professor Emeritus), két docens és két adjunktus látja el. Munkájukat egy teljes állású laboráns és öt részfoglalkozású dolgozó segíti (egy-egy tudományos ügyintéző, könyvtáros, laboráns, adminisztrátor és takarító-eljáró). Az oktatási feladatok ellátásába rendszeresen bekapcsolódnak a doktori ösztöndíjasok is (jelenleg négy doktorandusz), illetve évenként egy-két demonstrátor és négy-öt tudományos diákkörös hallgató. Az oktatók közül egy az MTA rendes tagja, egy a biológiai tudományok doktora, kettő a biológiai tudományok kandidátusa, egy pedig PhD-fokozattal rendelkezik. Hárman kapnak Széchenyi professzori ösztöndíjat. A tanszéken három részleg működik (Hidrobiológiai Részleg, Mikrobiális Ökológiai Részleg, Terresztris és Kvantitatív Ökológiai Részleg), amelyeknek az oktatási feladatai részben átfedőek, önállóságuk elsősorban kutatási vonalon nyilvánul meg. A tanszék gondozásában készül az *Acta Biologica Debrecina* folyóirat Supplementum Oecologica Hungarica tematikus sorozata (eddig 10 kötet jelent meg), a másik három tudományegyetem (ELTE, JATE, JPTE) szakmai közreműködésével.

A biológiatanár szakon két féléven keresztül heti két órában (összesen kb. 24 órában) oktatunk ökológiát, ami nagyon kevés, hiszen így az általános ökológiára, a kvantitatív és a rendszerökológiára, a populáció- és a társulásökológiára, illetve a mikrobiális, a növény- és az állatökológiára mindössze néhány óra jut (fő témakörönként legfeljebb 2–4 óra). A tananyag számonkérése mindkét félév végén kollokviumon történik. Új vívmányként említhetjük, hogy egyetemünkön a tanárszakos hallgatók számára kötelező a szünbiológia-szigorlatot letenni, ami az előbbi ökológiai témakörök mellett a növény- és az állatföldrajz, a populáció- és az evolúcióbiológia, illetve a természetvédelem tárgyak tananyagát is felöleli.

A szakbiológus-képzés keretében a biotechnológus szakirányt választó hallgatók együtt hallgatják az ökológiai témaköröket a tanárszakosokkal, ezért a számonkérési forma is hasonló, beleértve a szünbiológia-szigorlatot is. A molekuláris biológus szakirányú képzésben részt vevő hallgatók egy félévig heti 4 órában hallgatnak speciálisan az ő részükre kidolgozott tematikájú ökológiát, s abból kollokválnak.

A szakbiológusok közül az ökológus szakirányú képzésben részesülők számára az első év második félévében kötelező az általános taxonómia tárgy elmélete és gyakorlata (1+2 órában), ami egyben a szakképzés megkezdésének egyik előfeltétele is. A szakirányú tárgyak sorát a második év első félévében az általános ökológia nyitja meg (korábban 2 óra elmélet, újabban 1+1 óra előadás és szeminárium, s az utóbbin választott témakörök önálló feldolgozására helyezzük a hangsúlyt), amiből a kollokviumi jegy megszerzése előfeltétel a továbblépéshez. Hasonlóan alapkövetelmény a fitocönológia-kollokvium, továbbá a szervezettani és taxonómiai ismeretekből álló növényteni és állattani szigorlat letétele. A szakirányú képzés alapvetően két részre tagolódik. Az első egységben az alaptárgyak kaptak helyet (mikrobiális, növény- és állatökológia, szárazföldi és vízi ökológiai élőlényismeret, rendszer- és kvantitatív ökológia), amelyet az ökológiaszigorlat zár le a hatodik félév végén. A képzésnek ebben a szakaszában kerül sor a kollokviummal záródó talajtan- és hidrobiológia-kollégiumokra is. A második egységben a környezet- és a természetvédelem szempontjából fontos tárgyak (szárazföldi és vízi környezetvédelem, természetvédelem, ökológiai vizsgáló módszerek, ökotoxikológia) szerepelnek, amelyet az alkalmazottökológia-szigorlat zár le a kilencedik félév végén. Új elemként került be a tanterv kötelező tárgyai közé a tizedik félévben kollokviummal záródó, összegző jellegű környezetminősítés. A kötelező tárgyakat számos választható szakmai tárgy kínálata egészíti ki (amelyekből 16 kreditet kötelező választani), amelyek részben általános jellegűek (mint például az ökofiziológia, a populációökológia, az ökobiokémiá, a stresszbiológia, az élővilág-védelmi információsrendszer), részben speciális jellegűek (mint például a mintázatelemzés, a szekunder produkció, az állat-növény interakciók, az erdővédelem, a hal- és halászatbiológia, a humánökológia), részben pedig kiegészítő jellegűek (mint például a biológiai adatbázisok az interneten, a környezettervezés és -fejlesztés, a környezetvédelmi jog, a programozási alapismeretek, a számítástechnika). Mindezek mellett több szabadon választható s általában élénk érdeklődést kiváltó speciálkollégium is gazdagítja a kínálatot (mint például trópusi ökológia, algológia).

A képzés végén sorra kerülő záróvizsga az általános biológiai tájékozottságra vonatkozó kérdések mellett az általános és a speciális ökológiai ismeretekből is külön-külön tételsort tartalmaz. Az utóbbin belül a diplomadolgozat specializációs irányának megfelelően vagy szárazföldi, vagy vízi ökológiai kérdésekről számolnak be a hallgatók.

A „Terresztris ökológia” doktori (PhD) program az antropogén eredetű környezeti stresszhatások (például felmelegedés, UV-B sugárzás, savas ülepedés, légszennyeződés, xenobiotikumok) szárazföldi biomokra kifejtett hatásainak tanulmányozására szerveződött: növényökológiai, állatökológiai, mikrobiális ökológiai és ökológiai modellezési témákkal foglalkozik, 28 oktató (22 magyar + 6 francia) részvételével. Az oktatás és a kutatás feltételei biztosítottak, amelyhez

fontos infrastrukturális háttérrel jelent az ökológiai oktatási épület és annak számos laboratóriuma, a tanszék hosszú távú (long-term) szabadföldi kutatóbázisai (Síkfőkút LTER Project, Rejtek Project), valamint nemzetközi együttműködései. Ez utóbbiak közül különösen jelentős a francia partnerekkel (Université Henri Poincaré, Nancy; Institut National de la Recherche Agronomique, Nancy) kötött oktatási-kutatói együttműködési szerződés, amely lehetővé teszi a doktori képzésben részt vevő hallgatók és oktatók kölcsönös cseréjét, közös kutatások végzését, közös publikációk készítését, magyar-francia témavezetésű doktoranduszok (jelenleg 2 francia és 2 magyar hallgató) részvételét. A programba évente összesen 5-10 (nappali, levelező vagy egyéni képzésben részt vevő) doktorandusz felvételére van lehetőség. A programba eddig összesen 24 hallgató kapcsolódott be, közülük három már PhD-fokozatot szerzett.

A „Vízi ökológia” doktori (PhD) program keretében két alprogramra (Hidrobiológia, Vízi környezetvédelem) lehet jelentkezni, s mindegyiken belül két-két szakirány (a hidrobiológiánál élőlény-, illetve anyagforgalom-központú, a vízi környezetvédelemnél pedig vízkezelés-, illetve ökotoxikológia-központú specializációs lehetőségek) közül lehet választani. Tematikailag a program keretében a következő témakörök élveznek elsőbbséget: a sekély vizek (különösen a parti tájék) hidrobiológiája; vízi anyagforgalom (elsősorban nitrogén- és kénforgalom); a fito- és a zooplankton összetétele; néhány élőlénycsoport (cianobaktériumok, kovaalgák, makrofitonok, kerekesszervek, kiskígyók, szitakötők, poloskák, bogarak, árvaszúnyogok, halak) ökológiája; a vízi és a vizes élőhelyek állapotfelmérése, minősítése, védelme, fenntartása és kezelése; ökotoxikológia és bioindikáció; halas biomanipuláció; ipari vízrendszerek biológiai eredetű károsodásai és eliminációjuk lehetőségei. A terepvizsgálatok elsősorban északkelet-magyarországi víztereken történnek, de speciális felmérésekre más objektumokon (például Balaton, Kis-Balaton, Velencei-tó, Fertő, Tisza, ipari vízrendszerek, szennyvíztisztító berendezések) is sor kerül. Az oktatás és a kutatás feltételei egyrészt az ökológiai oktatási épület és a kísérleti állatház laboratóriumaiban, másrészt néhány hazai együttműködő intézménynél (elsősorban MTA Balatoni Limnológiai Kutatóintézet, MTA ÖBKI Magyar Dunakutató Állomás, Haltenyésztési Kutatóintézet, VITUKI Rt., Hortobágyi Nemzeti Park Igazgatóság, Hajdú-Bihari Önkormányzatok Vízmű Rt.) megfelelően biztosítottak. Külföldi partnereink közül hallgatóink elsősorban osztrák (Institut für Limnologie der ÖAW, Abteilung Mondsee; Biologische Station Neusiedler See, Illmitz), német (UNI-GH Paderborn, Abteilung Höxter), holland (Centrum voor Estuariene en Mariene Oecologie, Yerseke) angol (Silsoe College, Bedford) és amerikai (Louisiana State University, Wetland Biogeochemistry Institute, Baton Rouge) partnereink támogatására számíthatnak. A programba évente összesen 5-10 (nappali, levelező vagy egyéni képzésben részt vevő) doktorandusz felvételére van lehetőség. A programba eddig összesen 43 hallgató kapcsolódott be, közülük 6 már PhD-fokozatot szerzett.

A tanszék oktatói számos más oktatási intézményben tartanak kollégiumokat és speciális kurzusokat, mind graduális, mind posztgraduális szinten (például Debreceni Agrártudományi Egyetem, Debreceni Orvostudományi Egyetem Népegészségügyi Iskola, József Attila Tudományegyetem, Janus Pannonius Tudományegyetem, Állatorvos-tudományi Egyetem, Veszprémi Egyetem, Soproni Egyetem, Budapesti Műszaki Egyetem).

A szünbiológia oktatásának legfőbb stratégiai kérdéseit – az eddigi debreceni tapasztalatok alapján, s az országos helyzet ismeretében is – a következőkben foglalhatjuk össze:

- Az emberiség jelenlegi érdekeinek és a jövő nagy kihívásainak csak akkor tud megfelelni a máris az érdeklődés homlokterében álló, de egyre inkább szükségszerűen igényelt tudományunk, ha a szünbiológiának a ma már az általános műveltség elengedhetetlen részét képező ismeretanyaga kötelező tárgyként jelenik meg az oktatás minden területén, de elsősorban a tanárképzésben. Amennyire természetes, hogy egy biológusnak a matematika, a fizika, a kémia és a földtudomány alapelemeit ismernie kell, ugyanannyira magától értetődően kellene megjelennie a szünbiológiai ismereteknek is a többi tudomány tanterveiben. A napjainkban már oktatáspolitikai szinten is szorgalmazott széles körű természet- és környezetvédelmi tudatformálás ugyanis csak akkor hozhat valódi és átütő eredményeket, ha az alaptudományok legfontosabb tételeit és összefüggéseit mindenki elsajátítja, enélkül ugyanis az ismeretek eredményes integrálása az adott tárgy vagy szakterület anyagába elképzelhetetlen (hiszen ennek hiányában tudatlanok tanítanak tudatlanokat).
- Hasonló okokból a jelenleginél jóval nagyobb szerepet kell kapnia a szünbiológiának a biológia szakos tanárképzésben is, s nemcsak az ökológiának, hanem a szakterület teljes vertikumának (például a chorológiai, fenológiai, populációbiológiai, cönológiai, élővilág-védelmi, környezetminősítési ismereteknek) is.
- A biológiai ismeretanyag robbanásszerű gyarapodásának és a modern tudományos trendeknek csak akkor fogunk tudni megfelelni, ha a biológusképzésen belül önálló szünbiológus-képzés indítására lesz mód.
- A szünbiológus-képzésen belül lehetőséget kell biztosítani különböző szakirányok országosan összehangolt indítására (mint például botanikus, zoológus, ökológus, hidrobiológus), mégpedig ott, ahol erre a legjobb feltételek adóttak.
- El kell érni, hogy a biológia fő csapásirányainak megfelelő képzési formák (minimális feltételként a molekulárbiológus és a szünbiológus) szakmaként legyenek elfogadva (hogy ne az legyen/lehessen például ökológus, aki magát annak kinevezi).

- Meg kell teremteni a lehetőséget arra, hogy az egységes szakképzésen belül a diplomában a szakirányt hivatalosan is feltüntessék (tehát ne csak betétlappal lehessen az adott szakirány elvégzését igazolni, a betétlap maradjon meg a specializációs irányok (például a zoológus-szakképzésen belül az entomológus, az ökológus-szakképzésen belül az ökotoxikológus, a hidrobiológus-szakképzésen belül az algológus speciális irány) megjelölésére.
- Az egyes szakirányok tantervének és képzési követelményeinek kidolgozásánál és akkreditálásánál fokozott figyelmet kell fordítani az alapképzési szakasz országos egységesítésére, elsősorban a teljes körű átjárhatóság feltételeinek megteremtése érdekében.
- Az első két évet az egységes alapo­zó képzésre kell fordítani, ami mind a társtudományok (fizika, földrajz, kémia, matematika), mind a biológia infraindividuális szintjeinek (biokémia, sejtbiológia, szövettan, szervezettan, élettan) ismeretanyagát felölelné.
- Az alapképzésen belül mind a társtudományoknál, mind az infraindividuális biológiai tárgyaknál ügyelni kell arra, hogy az általános alapok mellett szakmaspecifikus ismeretek oktatására is sor kerüljön, ezért önálló tananyagot szükséges kidolgozni, amit önálló kollégium (elmélet és gyakorlat) formájában kell leadni és számon kérni.
- A szakmai előkészítésben a bioszisztematikai és a taxonómiai ismereteknek a jelenleginél sokkal nagyobb hangsúlyt kell kapniuk, különös tekintettel az egyes élőlénycsoportokhoz értő specialisták tervszerű és összehangolt kiképzésére (elsősorban a jövő szempontjából mind súlypontosabb biodiverzitás-monitorozás feladatainak teljesítéséhez).
- A szakmai tárgyak egymásra épülő rendszerét minden szakirány esetében nagyon átgondoltan kell kialakítani, s az előfeltételek teljesítésének következetesen érvényt kell szerezni.
- Feltétlenül szükségesnek tartjuk a képzés teljes vertikumában (a tanárképzéstől a szakképzésig) egy önálló szünfenobiológia tárgy bevezetését, hogy az élővilág valós tér-időbeli tömegeloszlási sajátosságait leíró, elemző és értékelő s így a bioindikációt tudományosan alapo­zó ismeretanyag átadása is egységes felépítésben történjék.
- Bővíteni kell a speciális szakmai tárgyak kínálatát, s a gyakorlati életben dolgozó szakembereket is nagyobb számban kell a képzésbe bevonni annak érdekében, hogy biztosítani lehessen a végzés után azonnal hasznosítható ismeretekhez történő hozzáférés jobb lehetőségeit.
- A hallgatói visszajelzések alapján az eddiginél jóval fokozottabban kell törekedni az elméleti ismeretekből megfelelő írásbeli anyagok (tankönyvek, jegyzetek, segédletek) készítésére, ami az elméleti órák számának csökkentését, s a szemináriumok és a gyakorlatok mennyiségének növelését tenné

lehetővé, összhangban a kreditrendszer bevezetésével és a tantervi struktúra elodázhatatlan korszerűsítésével.

- A jelentős szemléletmódbeli, oktatás-módszertani és kutatásszervezési különbségek miatt szükségesnek látszik lépéseket tenni a szünbiológiai oktatásért és kutatásért felelős önálló egységek (tanszékcsoportok, intézetek) létrehozására az újonnan alakuló egyetemeken.
- Mindezeknek a céloknak a megvalósításához megfelelő személyi és anyagi feltételeket kell teremteni, elsősorban oly módon, hogy a képzés szakmai hátterének biztosításához az ilyen képzettségű szakemberek kibocsátásában érdekelt tárcák és főhatóságok (például KöM, KHVM, FVM) intézményesen is járuljanak hozzá (hasonlóképpen a mezőgazdasági és az egészségügyi ágazathoz).
- Végül úgy érezzük, pusztán szeméremből nem szabad hallgatni azokról a méltatlan személyi és anyagi körülményekről, amelyek között jelenleg a szünbiológia tudománya tengődik. Minden lehetséges fórumot felhasználva harcolni kell az olyan téves és káros nézetek ellen, amely szerint a szünbiológia és ezen belül az ökológia elsősorban „szofisztikus” tudomány. Szakmánk korszerű műveléséhez komoly laboratóriumi és számítástechnikai háttér, továbbá emellett még színvonalas terepi infrastruktúra is szükséges, ráadásul nemcsak ideig-óráig, hiszen a szünbiológiai összefüggések jó része csak hosszú távú kutatásokkal deríthető fel eredményesen. A szünbiológia ma már a biológia más ágaihoz hasonlóan kísérletes tudomány is, és oktatási téren különösen zavaró (sőt szinte megalázó), hogy tanszékeinken főleg labor-, műszer- és eszközhiány miatt egyszerűen nincs mód azoknak az ismereteknek az átadására, amelyekkel végzős hallgatóinknak a gyakorlati életbe kikerülve dolgozniuk kellene.

Őszintén szeretnénk remélni, nem elsősorban saját nehéz helyzetünk miatt, hanem az emberiség biztatóbb jövőjének megteremtésén fáradozó szakember-utánpótlás eredményes biztosítása érdekében, hogy szaktudományunknak a jelenlegi méltatlan állapotán központi akarattal mielőbb változtatni lehet. Ehhez kérjük a Magyar Tudományos Akadémia Biológiai Tudományok Osztályának segítségét és hatékony támogatását.

Zoológiai irányú szünbiológiai és evolúcióbiológiai oktatás Debrecenben

Honnan ered és merre folyik a „SIO”?

A „SIO forrásvidékén” – Vida Gábor szellemes szófordulatát kölcsönvéve – két nagy áramlat ered: a szünbiológia és az evolúcióbiológia folyamai. Mindkettő a biológiai sokféleség egy-egy jelentős aspektusához – a szünbiológia a strukturális-funkcionális-kompozicionális vonatkozásokhoz, az evolúcióbiológia pedig a sokféleség genealogikus gyökereihez, történeti dinamikájához – kapcsolódik. Ahogyan komplementer tendenciákként jelentkeznek az egyedföltölti szerveződésben a tömegjelenség-jelleg és az individualitás (vö. saját, 1966-os modellünket [1] illetve Eldredge „kettős hierarchiáját” [2]), s ahogyan kiegészítik egymást a biológiai kauzalitás vizsgálatában a *causa efficiens* és a *causa finalis* aspektusai [3], úgy fonódik szorosan egybe a „szuprabiológia” két fő iránya is.

Mindkét nagy terület közös alapja, összetartó ereje a sokféleséget leíró, katalogizáló és értelmező rendszerező biológia: a biotaxonómia és bioszisztematika. Így együtt, és csak együtt szolgálhatják a biológiai sokféleség különböző szintjeinek védelmét: a populációk genetikai készleteinek, a fajok variabilis népességeinek megőrzésétől a szervesanyag-termelő ökológiai rendszerek működőképességének, a bioszféra stabilitásának megóvásáig. Szakmai meggyőződésem: sem a szünbiológia, sem az evolúcióbiológia, sem a biológiai sokféleség alkalmazott tudománya, a konzervációbiológia nincs és nem létezhet másként, csak a taxonómia szilárd alapjaira építve. Ugyanakkor ahhoz, hogy rohamosan változó világunkban a taxonómia szilárdan megállhasson a lábán, s egyúttal – Ernst Mayr szavaival – valóban „a biológia fókuszpontjává” válhassék, ahhoz dinamikus fejlődő rokon tudományok és határtudományi kapcsolatok szükségesek. Azon a szerény létszámú és „ehhez illő” körülmények között dolgozó egyetemi tanszéken, amelyet nevében az evolúcióbiológia és a zoológia kulcsszavai fémjeleznek, ennek megvalósítását kíséreltük meg.

Egy egyetemi tanszék létjogosultságának a fokmérője az oktatómunkát megalapozó alap kutatások színvonala. Erős zoológiai oktató-kutató központ kiépítésére törekszünk, rovarcsoportok taxonómus specialistáinak nevelésével, „iskola-

teremtő” biogeográfiai és konzervációbiológiai kutatómunkával. Ebben közvetlen partnerünk a jelenlegi vezető hazai zoológiai kutatóbázis, a Magyar Természettudományi Múzeum.

A tanszéki csoportok: a diákköri munka és doktori képzés bázisai

Fiatall kutatókból jött létre tanszékünkön a Viselkedésökológiai Csoport (VÖCS). Érdeklődésük a madarak reprodukív viselkedésének és szociális szerveződésének kérdéseire összpontosul. Erősségük a terepi kutatás és az elméleti modellezés szoros kapcsolata; a csoport ezzel vált a tanszéki tudományos diákköri munka és doktori képzés egyik bázisává. Ezt jelzi az a mintegy 80 hallgató részvételével, januárban tartott workshop, amelynek meghívott előadásai a közeljövőben önálló tanulmánykötetként is megjelennek, s amelyen az ország különböző egyeteméről jött doktorandusz hallgatók is tartottak előadásokat kutatómunkájukról. Szoros kutatási és oktatási együttműködésük alakult ki a budapesti ÁOTE Ökológiai Tanszékén nemrég alakult viselkedésökológiai-konzervációbiológiai csoporttal.

A populációgenetikai laboratórium szintén nemrég alakult, modern molekuláris és kvantitatív módszerekkel dolgozó csoport. Érdeklődésünk középpontjában itt a populációk *földrajzi, evolúciógenetikai struktúrája* áll, amelynek megértése teszi kauzálisan értelmezhetővé az elterjedés recens és történeti-evolúciós dinamikáját. Ezért beszélhetünk ma a „szuprabiológia” egyik legizgalmasabb új határterületeként a „*filogeográfiá*”-ról [4]. Hazai vonatkozásban az ilyen irányú rovarpopuláció-genetika, erős konzervációbiológiai „felhangokkal” [5], úttörő kezdeményezésnek számít, amelynek eredményei az elmúlt 3-4 év óta érnek be, erős nemzetközi folyóiratokban megjelent közleményekkel [pl. 6,7,8]. Ez a csoport is mind a tudományos diákköri munkának, mind a doktori képzésnek fontos műhelye.

Alkalmazott jellegű kutatásaink, doktori képzésünk és szakirányú posztgraduális továbbképzésünk kulcsszava a *konzervációbiológia*. Tanszékünkön a természetvédelem szakmai alapját képező biológiai diszciplínák közül több is képviselve van, ezért a társtanszékekkel, főként az Ökológiai Tanszékkel karöltve jó lehetőség nyílik arra, hogy létrehozassuk a konzervációbiológia egyik hazai bázisát, amelyet a doktori és diploma utáni szakirányú képzési programjaink is indokoltá tesznek. Már eddig is sokrétű volt az együttműködésünk a Természetvédelmi Hivatallal és regionális szerveivel, és ezt a jövőben is fenn kívánjuk tartani. Az alkalmazott kutatásokban további együttműködési lehetőségeink is vannak, mindenekelőtt az MTA Botanikai és Ökológiai Kutatóintézetével (hazai száraz- és félszáraz gyepek közösségökológiai kutatása, veszélyeztetett élőhelyek és közösségek kutatása, erdőrezervátum-kutatások stb.).

Oktatási szintek és feladatok a tanszéken

Alapképzés

A tanszék több, különféle képzési irányhoz tartozó hallgató számára (biológiai-tanár, biológus-ökológus, molekuláris biológus, környezettanár, az 5 évfolyamon összesen ma már mintegy 600 hallgatónak) az alábbi kollégiumokat oktatja: *állatszervezetan, állatrendszertan, biogeográfia, populációgenetika, evolúciobiológia, viselkedéshiológia, antropológia, emberanatómia és humánbiológia, humánökológia*. A fenti tárgykörökből, időnként külső előadók bevonásával, rendszeresen hirdetünk speciálkollégiumokat is. Minden tudományos fokozattal rendelkező munkatársunk tart főkollégiumot, általában 2-3-at is. A jelentős hallgatói létszám szükségessé teszi azt, hogy a gyakorlatok és a terepgyakorlatok vezetésébe a doktorandusz és demonstrátor hallgatók is bekapcsolódjanak, egy-egy vezető oktató irányításával. A létszámnövekedés mind a tantermi, mind a terepgyakorlatoknál súlyos gondok forrása. Sem megfelelő gyakorlótermünk, sem megfelelő felszerelésünk nincs ilyen létszámú hallgatóság befogadására és oktatásának ellátására. A terepgyakorlat pedig ilyen létszámok mellett egyre inkább terepen tartott demonstrációs előadássá válik, ezáltal a terepi önálló munka ellehetetlenül, a gyakorlatok eredeti célja csorbul.

1. táblázat

Evolúciós Állattani és Humánbiológiai Tanszék

	D. Sc.	C. Sc., illetve PhD	Dr. univ.
Professzor	1(+1*)		
Docens		4	
Tud. főmunkatárs		1	
Tud. munkatárs		1	
Tanársegéd			1
Összesen	1	6	1
Széchenyi-ösztöndíj	1(+ 1*)	3	
Bolyai-ösztöndíj		1	

*MÁFI-főállású vendégoktató, a KLTE-n Széchenyi-ösztöndíjas

Posztgraduális (PhD) képzés

A Biodiverzitás PhD-képzési program két alprogrammal (populációbiológia, illetve közösségdiverzitás) működik. Az első alprogram többirányú: *populációgenetika, viselkedésökológia, taxonómia* mind zoológiai, mind humánbiológiai vonatkozásban (a humánbiológiai alprogram „önállósítását” most készítjük elő); a második alprogram főként *rovarközösség-ökológiai és konzervációbiológiai* irányú. Végzett, illetve végzős hallgatóink elhelyezkedésével nem lehetünk elégedettek: közülük 1 fő a JATE-n, 1 fő az ÁOTE-n, 1 fő az MTTM–MTA Ökológiai Kutatócsoportjánál, 1 fő vidéki múzeumnál, 4 fő pedig a nemzeti parkok igazgatóságain helyezkedett el, 2 fő kapott külföldi ösztöndíjat. A szomorú inkább csak az, hogy a disszertációk befejezését segítő három Soros-ösztöndíjon kívül itt a tanszéken senkinek nem nyílt lehetősége bent maradni, holott ez a hallgatóság létszámnövekedése alapján nagyon is jogos volna. A program keretében 1996-ban két habilitáció történt.

2. táblázat

Doktori képzés	
Biodiverzitás program	
1. alprogram	2. alprogram
Populációbiológia Populációgenetika Viselkedésbiológia Taxonómia	Közösségdiverzitás Konzervációbiológia
Eredmények: 2 habilitáció, 5 PhD-fokozat, 5 abszolutórium Létszám: 7 ösztöndíjas (1 erdélyi), 6 levelező (1 erdélyi), 3 egyéni képzésű TDK-s hallgató: 16 fő Demonstrátor: 3 fő	

Diploma utáni szakképzés

Mivel erre több irányú igényt és növekvő érdeklődést tapasztalunk, szeretnénk megerősíteni az 1991-ben indult természetvédelmi-ökológus szakképzésünket, amelyen eddig három évfolyam végzett; a negyedik 1999 októberében tesz záróvizsgát. Ebben a képzésben eddig a gyakorlati természetvédelemben dolgozó személyek (TvH, illetve nemzeti park-igazgatóságok munkatársai), továbbá közép- és általános iskolai tanárok vettek részt. A kredit-rendszerű képzésre való áttérés érdekében a korábbi tematikát átdolgoztuk és akkreditációra előkészítettük. Az új képzési rend előreláthatóan a 2001–2002-es tanévtől lép életbe.

Tanszéképítés és -fejlesztés

A tanszék fejlesztésének alapelve a *lépcsőzetesség*. A tudományos diákkör az alapvető mérítési bázis a doktori képzés számára. A tudományos diákköri munkát, a diákkörösökkel való együtt dolgozást oktatómunkánk elengedhetetlen részének tartjuk. Ami társadalmunkból napjainkban kihalóban van: egy „*többgenerációs nagycsalád-modell*” igyekszünk a tanszéken megvalósítani. Ezt elősegíti, hogy a tanszék szinte kizárólag minősített oktatókból áll, akik körül egy-egy „műhely” kialakulhat, amire 4 belső és 1 külső Széchenyi professzori ösztöndíjasunk (!) és egy Bolyai-ösztöndíjasunk jó példát nyújt. A tanszéken az a gyakorlat alakult ki és vált be, hogy lehetőleg minél több munkatárs önállóan pályázzék kutatási támogatás elnyerésére. Támogatjuk azt is, hogy lehetőleg a fiatalok mindegyikének nyíljon lehetősége külföldi kongresszusi szereplésre, illetve tanulmányútra. Bár a végzősök legnagyobb részének az egyetemen kívül kell elhelyezkednie (ez az említett adatok alapján sikeresnek mondható), mégis mulhatatlanul szükség volna, legalább a doktori ösztöndíjak 10–15%-ának arányában, a *posztdoktori ösztöndíjakra* is, az egyetemi kutatói és oktatói utánpótlás, a jövő *habilitált* szakembereinek biztosítása érdekében. Ezt sajnos jelenleg nincs biztosítva, és megoldásához több forrás igénybevétele szükséges. Amennyiben országos szinten bevezetésre kerül a 3 évre tervezett költségvetés, *ebben a tudományos kutatás-fejlesztés támogatásának meg kell közelítenie a GDP 2%-át*; megfelelő arányban támogatva a tudományos utánpótlás fejlesztését, illetve elősegítve a jelenleg külföldön dolgozó fiatalok jó részének hazatérését. A pályázati források egy részének is e célt kellene szolgálnia, illetve az egyetemi és kutatóintézeti nyugdíjazásokkal felszabaduló beralapok jelentős hányadát posztdoktori, illetőleg habilitációs ösztöndíjakra kellene fordítani.

A szünbiológia „drámája”: optimista tragédia?

A *taxonómus* annak az „*evolúciós drámának*” a szereplőit vizsgálja, amely a bioszférára nagy „*ökológiai teátrumában*” zajlik. Alapkérdései: *kik a szereplők, honnan jöttek, hová mennek, mi a szerepük, mennyien, hol vannak, mit csinálnak* stb. láncolatban jönnek, egymásba kapcsolódva. E ténynek egyaránt vannak *szakmai* és *morális* következményei.

Akkor, amikor az egyetemeken Európa-szerte meggyengültek a biológiai sokféleség oktatásának és kutatásának szellemi bázisai, és ami kétségtelenül *szakemberhiányhoz* fog vezetni éppen egy olyan időszakban, amikor a *legégetőbb* lesz a *szükség* a biodiverzitás, rajta keresztül a bioszféra megmentésére, a *tudományos közösség és a társadalom megbecsülésére* joggal tarthatnak igényt azok, akik erőfeszítéseinek köszönhető, hogy a *taxonómiának, az ökológiának, illetve általában a szünbiológiának* s a tőle elvá-

laszthatatlan evolúcióbiológiának Magyarországon ma – az ismert nehézségek ellenére is – van és reményeink szerint lesz is szakmai utánpótlása.

Irodalom

- [1] Varga Z.: A szerveződési szintek a biológiában [The level-of-organisation concept in the biology]. *Magyar Filozófiai Szemle*, 1966, 5, 719–736.
- [2] Eldredge, N.: *The Unfinished Synthesis: Biological Hierarchies and Modern Evolutionary Thought*. Oxford University Press, New York, 1985.
- [3] Wuketits, F. M.: *Biologie und Kausalität. Biologische Ansätze zur Kausalität, Determination und Freiheit*. Paul Parey, Berlin, 1981.
- [4] Roderick, G. K.: Geographic structure of insect populations: gene-flow, phylogeography and their uses. *Ann. Rev. Ent.*, 1996, 41, 325–352.
- [5] Pecsénye K.: Állatpopulációk genetikai variabilitásának monitorozása: lehetőségek és korlátok. *Nemzeti Biodiverzitás-monitorozó Rendszer*, Magyar Természettud. Múzeum, Budapest, 1997, X., 35–47.
- [6] Pecsénye, K. & Meglécz, E.: Enzyme polymorphism in *Drosophila melanogaster* populations collected in two different habitats in Hungary. *Genetica*, 1995, 96, 257–268.
- [7] Meglécz, E., Pecsénye, K., Varga, Z. & Solignac, M.: Comparison of differentiation pattern at allozyme and microsatellite loci in *Parnassius mnemosyne* (Linnaeus, 1758) (Lepidoptera) populations. *Hereditas*, 1998, 128, 95–103.
- [8] Meglécz, E., Neve, G., Pecsénye, K. & Varga, Z.: Genetic variations in space and time in *Parnassius mnemosyne* (Lepidoptera) populations in northeast Hungary. *Biol. Conservation*, 1999, 89, 3, 251–259.

Az ökológia-szünbiológia oktatása hazai agráregyetemi szempontból

Rövid történeti áttekintés

Az agráregyetemi ökológia/szünbiológia (továbbiakban ökológia, sensu Juhász-Nagy, 1984, 1986) oktatása hosszú múltra tekinthet vissza. A tárgy 1950-től kezdve jelen volt az agrár-felsőoktatásban is. Ez valóban korai megjelenésnek tekinthető, hiszen ebben az időben az iparszerű, nagy energiabevitelű (talajművelés, műtrágyázás, növényvédő-szerezés), egyszerű algoritmusokon, technológiai előírásokon nyugvó nagyüzemi mezőgazdasági termelést tekintették korszerűnek, és az ezzel kapcsolatos ismereteket tanították az agráregyetemen. Ennek során kevés helyet kapott a természetes folyamatokat is figyelembe vevő, ökológikus gondolkodásmód. Az ökológia korai megjelenésének jelentőségét nem lehet megérteni és értékelni akkor, ha nem utalunk egy fontos tényre: a gyakorlati kérdéskörökkel (növénytermesztés, állattenyésztés) foglalkozó oktatók kevésbé lelkesedtek az ökológia oktatása iránt.

Éppen az elmondottak miatt feltűnő a történeti tényeket vizsgáló számára, hogy az ökológia oktatásának gyökerei az agrár-felsőoktatásban mégis milyen mélyre nyúlnak vissza.

A GATE Növénytani Tanszékén a növényökológia egyes elemei ugyan még nem elkülönített, önálló fejezetként és még a növényföldrajz részeként, de már fellelhetők az 1930-as évek végétől (Jeanplong, pers. com.). Ez elsősorban Szabó Zoltán akkori professzor oktatási tevékenységéhez köthető.

Az ökológia önálló fejezetként a növénytan tárgy keretében a GATE Növénytani Tanszékén – és ezen keresztül a hazai agrár-felsőoktatásban – 1950-ben jelent meg először. Oktatását Máthé Imre professzor vezette be. Ő a növényökológia témakörét a *Mezőgazdasági Növénytan* (Máthé, 1952a) című, háromkötetes egyetemi jegyzetében is már külön fejezetként, *Ökológiai növényföldrajz* címen (Máthé, 1952b) tárgyalja. A növényökológia oktatására akkor a II. félévben, a növényrendszertant követően került sor. Máthé Imre hazánkban úttörő jellegű produkcióökológiai kutatása is jelentősen hozzájárult a növényökológia oktatásának ily korai agráregyetemi bevezetésébe. Ez persze nem véletlen, hiszen Máthé Imre

abból a Soó Rezső-féle botanikai iskolából jött, ahol a hazai szünbotanika és növényökológia Debrecenben, illetve Budapesten kialakult. Itt fontos megjegyezni, hogy Soó Rezső 1945-ben megjelent tankönyvében a növényökológia már önálló fejezet volt, ráadásul autökológiai és szünökológiai tagolásban (Soó, 1945).

A témakör a GATE Állattani Tanszékén akkor bukkant fel, amikor Fábián Gyulát 1959-ben megbízták a tanszék vezetésével (Bakonyi–Kiss, 1998). A munkatársaival együtt írt, nem sokkal kinevezése után megjelenő állattani egyetemi jegyzet (Fábián et al., 1961) már tartalmaz ökológiafejezetet. Ennek a jegyzetnek újdonságát éppen az ökológia- (és a sejtteni) fejezet jelentette az addig használt állattani jegyzettel (Kölüs et al., 1956) szemben.

Természetesen az említett tananyagfejlesztés nem elszigetelten történt, hanem a társintézményekkel többé-kevésbé összhangban. Az agráregyetemi oktatók, Fábián Gy. (Gödöllő), Kölüs G. (Keszthely), Kovács B. (Debrecen) és Tóth Z. (Mosonmagyaróvár) 1963-ban megalkották az állattani diszciplína programját, amit azután az FM. 10.316/1964. számon hagytak jóvá. Ebben érintették mindazokat a témaköröket a tananyagrészt tárgyalása során, amelyeket abban a korban a tudományegyetemeken is oktattak. Az agráregyetemeken igyekeztek a gyakorlati vonatkozásokat kiemelni. Ez akkor elvárás volt az oktatókkal szemben.

A jegyzet anyagát azután kibővítették és továbbfejlesztették, majd tankönyv formájában publikálták (Fábián et al., 1965). A tankönyv első kiadásában a tárgyalta témakör mintegy 50 oldalt (a teljes tananyag kb. 10%-a) tett ki. A tankönyv azután még két kiadást (1973, 1977) ért meg. Az ökológiai témakör részaránya a későbbi kiadásokban is hasonló volt. Az agrártudományi főiskolák és egyetemek számára ez volt a hivatalos, a Mezőgazdasági és Élelmezésügyi Minisztérium által engedélyezett tankönyv.

Valószínűleg nem tévedünk sokat, ha az ökológia önálló tantárgyként való bevezetését az agrár-felsőoktatáson belül Fábián Gyula nevéhez kötjük. Ő abban a Dudich Endre nevével fémjelzett iskolában nevelkedett és tanult, ott szerzett doktorátust, ahol többek között Balogh János is (Móczár, 1996). Ismert, hogy Balogh nemzetközileg is úttörő jelentőségű könyve 1953-ban jelent meg (Balogh, 1953). Érthető tehát, hogy az ott megfogalmazódott gondolatok, a kapcsolódó gondolkodásmód Fábián személyén keresztül korán, az említett könyv megjelenése után kevesebb mint 10 évvel bekerülhetett az agráregyetemi oktatásba. Holisztikus világszemlélete (Bakonyi, 1987/88; Nagy, 1991) predesztinálta arra, hogy a már említett redukcionista szemléletmódot túlhaladva a tananyagfejlesztést az ökológia irányába is folytassa. Már 1967-ben, egy oktatásmódszertani tanulmányában kifejti, hogy ebben az időben igény jelentkezett rendszeres állatökológiai összefoglalóra (Fábián, 1967).

A növényökológia agráregyetemi oktatása – legalábbis a GATE-t illetően – a hazai tudományegyetemekhez hasonló időpontban kezdődött. A növényökoló-

gia 1950-től töretlenül jelen van a GATE Növényteni Tanszékének az oktatásában (Jeanplong, 1995). Máthé Imre említett jegyzete 1957-ig volt használatban. 1962-ben jelent meg a GATE Növényteni Tanszéke oktatóinak tollából a *Növény-ökológia – Növényföldrajz – Biometria* című jegyzet (Horváth et al., 1962) a *Botanika* jegyzetsorozat II. köteteként. A Horváth Imre által írt *Növényökológia* fejezet mellett külön kiemelendő Précsényi István – későbbi debreceni tudományegyetemi tanszékvezető botanikaprofesszor – fejezete, a *Biometria*, mely az ökológiai gondolkodáshoz és kutatáshoz nélkülözhetetlen ilyen irányú ismereteket nyújtotta. Ez idő tájt a biometria tanítása a hazai egyetemi oktatásban nem volt általános. Ismereteink szerint hazai agráregyetemünkön egész biztosan ez volt az első ilyen irányú írott tananyag. Ezt követően az agráregyetemek növényökológiai oktatásához a tanárképző főiskolák számára írt, több kiadást megért országos tankönyvet használták (Hortobágyi, 1962, 1963 és 1968). A tankönyv szerkesztője, illetve egyik szerzője, Hortobágyi Tibor professzor, egyben a GATE Növényteni Tanszékének volt a vezetője 1958–1980-ig. Az agráregyetemi növényökológiai tananyag 1958-tól mind a mai napig olyan országos növényteni tankönyv részeként jelent meg, mely szorosan kapcsolódik a GATE Növényteni Tanszékéhez (Hortobágyi, 1972, 1974, 1980, 1986; Jeanplong, 1970; Jeanplong és Précsényi, 1980; Précsényi, 1982; Szabó, 1995). Sőt, az 1980-ban napvilágot látott és mind a mai napig használatos egyetlen tudományegyetemi növényökológia-tankönyvet is társszerkesztőként a GATE volt professzora, Hortobágyi Tibor jegyzi (Hortobágyi és Simon, 1981).

A diszciplína oktatásának agráregyetemi helyzete világosan kiderül akkor, ha összevetjük a tudományegyetemeken használt, hasonló időszakban megjelent ökológiajegyzetekkel, -könyvekkel. Közülük Simon (1963), Gallé (1973), valamint Juhász-Nagy és Vida (1978) munkáját kell a vizsgált időszakból említeni. Ezekre való figyelemmel is kijelenthető, hogy az agráregyetemi ökológia oktatása ugyan kisebb óraszámban, de követte a tudományegyetemeken folyó ökológiai oktatást. A helyzet a későbbiekben sem változott. Több olyan jegyzet, sőt tankönyv jelent meg az agráregyetemeken, mely részben vagy egészben foglalkozik az ökológia témakörével, annak speciális aspektusaival (például Hortobágyi, 1974; Fábíán et al., 1975; Bürgés et al., 1977; Fábíán, 1986; Hortobágyi, 1986; Sáringer, 1988; Bakonyi et al., 1995), és ezzel alapot nyújt a hallgatók számára a témakör alaposabb elsajátításához.

Ökológiát, illetve egyes részterületeit graduális szinten a botanikai és zoológiai tantárgyakon belül már az 1960-as évektől kezdve oktattak. Tantárgycímben kifejezve viszont először csupán 1978-ban jelent meg. Ekkor vezették be a GATE-n az „Állattan és ökológia” című tantárgyat, melyet az Állattani Tanszék tanított. Önálló tantárgyként ugyanitt 1985-ben „Agroökológia” címmel került meghirdetésre. Oktatástörténeti tényként kell megemlíteni, hogy a tantárgyat Burján Amb-

rus ökonómusprofesszor, dékán támogatásával lehetett bevezetni, aki átlátta a diszciplína fontosságát, különös tekintettel az akkor már a mezőgazdaságban is jelentkező súlyos környezeti problémákra. Ekkor a harmadik évfolyamon tanították a témakört, megértve, hogy elsajátításához igen hasznos, ha a hallgatók már botanikai, zoológiai, talajtani, meteorológiai, statisztikai ismeretekkel is rendelkeznek. A tantervi struktúrák átalakítása során, 1991-től kezdve ezt a diszciplínát „Ökológia” című alaptantárgyként az első évfolyamon oktatják.

Posztgraduális szinten, a szakmérnökképzés keretein belül, a környezetvédelmi szakmérnökök számára tartottak speciális ökológiai képzést, „Környezetvédelmi ökológia” címmel (Fábián et al., 1975; Fábián, 1986). Ez a képzési forma, 1974-től kezdve, jelenleg is tart.

1985/86-ban az agrár egyetemeken ökológiai oktatásában a szünfenetika mellett – a „Növény-ökoфизиология” tárgy révén – megjelent a szünfunktionalis folyamatok oktatása is. Ez a jelen cikk második szerzője által a GATE Növénytan és Növényélettan Tanszékén bevezetett tárgy egész hazai egyetemi oktatásunkban is új elem volt (Jeanplong, 1995). Ez a tárgy lett a magva a GATE Növénytan és Növényélettan Tanszékén jelenleg 13 tárggyal folyó növényi szünfunktionalis graduális és posztgraduális oktatásnak.

A hazai agrár-felsőoktatási intézmények jelenlegi egyetlen alaptudományi ökológiaidoktor- (PhD) képzésének két alprogramja (növényökológia: Kovács Margit, ökoфизиология: Tuba Zoltán) 1993-ban került akkreditálásra (Demeter et al., 1995; Kovács–Tuba, 1995).

Az agrár egyetemeken esetében is elmondható, hogy az ökológia oktatásának megjelenése és jelenlegi mértéke igen szoros összefüggésben áll az egyes oktatóműhelyekben folyó ökológiai kutatómunkával.

A jelenlegi helyzet (1999)

A vázolt előzmények után sajátos helyzetet jelentett, hogy az első önálló ökológia-tanszéket az Állatorvos-tudományi Egyetemen hozták létre. Napjainkig ez az egyetlen, nevében tisztán ökológia-tanszék az agrár-felsőoktatásban. Tevékenységét az ÁOTE Zoológiai Intézet keretein belül fejti ki. Agrár-felsőoktatási intézményben ezenkívül a GATE Állattani és Ökológiai Tanszéke, valamint az 1999-ben létrehozott GATE Kultúrokológiai és Környezeti Kommunikációs Tanszéke szerepel még mint elnevezésében is ökológiai tanszék. Az ökológiát a hazai agrár-felsőoktatásba bevezető és nagyszámú ökológiai tárgyat oktató és képzést végző GATE Növénytan és Növényélettan Tanszéke MTA Tanszéki Növényökológiai Kutatócsoportot és Long-term Kísérletes Növényökológiai „Global Change and Terrestrial Ecosystems” (GCTE, Canberra) EU-kutatóállomást működtet (Demeter et al.,

1995; Tuba et al., 1998; Tuba, 1999). A kutatócsoport és kutatóállomás komoly részt vállal a GATE ökológiai oktatási és képzési feladatainak az ellátásából.

Agrár-felsőoktatásunkban graduális képzésben jelenleg az ökológia kötelező (A) tárgyként a GATE-n 6, a PATE Georgikon Karán 2, Mosonmagyaróvári Karán 2, a DATE-n 3, a Soproni Egyetemen 2, az Állatorvos-tudományi Egyetemen pedig 5 tárgyként kerül oktatásra (lásd 1. táblázat).

A nem kötelező választható ökológiai B tárgyak igen változatosak a különböző egyetemeken. Számuk az elmúlt években jelentősen emelkedett. Csupán példa-

1. táblázat

**A graduális képzés keretében oktatott kötelező (A),
ökológiai-szünbiológiai tantárgyak**

Intézmény	Tantárgyak
Állatorvos-tudományi Egyetem	Az ökológia alapjai Növényökológia Szünbiológia Viselkedésökológia Kvantitatív ökológiai módszerek
GATE	Ökológia A biogeográfia alapjai Alkalmazott ökológia Globális környezeti problémák Agrártermelés és környezetterhelés A talaj ökológiai funkciói és védelme
PATE, Georgikon Mezőgazdaság-tudományi Kar, Keszthely	Mezőgazdasági növénytan (3 karon) Ökológia
PATE, Mezőgazdaság-tudományi Kar, Mosonmagyaróvár	Mezőgazdasági növénytan Ökológia
DATE	Mezőgazdasági állattan, állatélettan és ökológia (3 karon) Mezőgazdasági növénytan, növényélettan és ökológia Természetes ökoszisztémák
Soproni Egyetem	Környezetvédelmi állattan Rovartan és állatökológia

**A graduális képzés keretében oktatott választható (B),
ökológiai-szünbiológiai tantárgyak (GATE)**

Rovarökológia	Funkcionális növényökológia
A nematológia alapjai	Növény-ökofiziológia
Méhek biológiája	Ökotoxikológia
Populációgenetika	Mezőgazdasági téralkalmassági vizsgálatok
Talajbiológia	Ökológiai növényvédelem
Növény-mikroba kölcsönhatások	Trópusi ökológia
Mikrobiális ökotoxikológia	A populációbecslések elméleti alapjai
Biológiai monitoring	Vadbiológiai gyakorlatok
Bevezetés a mezőgazdasági ökológiába	Populációs paraméterek becslése
Produkcióélettan és -ökológia	Globális légköri változások

ként közöljük a GATE-n jelenleg oktatott választható, részben vagy teljesen ökológiai tárgyak listáját, szemléltetve azok sokrétűségét (2. táblázat).

Önálló alaptudományi ökológiai doktori program egyedül a GATE Növényteni és Növényélettani Tanszékén működik (3. táblázat). Alkalmazott agrártudományi doktori program keretében a PATE Georgikon Karán 2, Mosonmagyaróvári Karán 1, a DATE-n pedig 2 ökológiai tárgyat oktatnak. A Soproni Egyetemen 3 ökológiai tárgy oktatása folyik doktori program keretében (3–6. táblázat).

A posztgraduális szakmérnökképzésben oktatott ökológiai tárgyak egyetemeink szerinti megoszlását a 3–6. táblázat mutatja.

Összefoglalóan megállapítható, hogy jelenleg igen változatos színvonalú ökológia oktatás folyik az agráregyetemek keretein belül. Ennek legfőbb oka, hogy több helyen és esetben olyanok oktatják az ökológiát vagy ökológia szóval, szóösszetétellel jelölt tantárgyat, akik nem végeznek természettudományos értelemben vett ökológiai kutatásokat. Külön problémát jelent az is, hogy ökológia címszó alatt oda semmiképpen nem köthető, az ökológia szó természettudományos értelmezésével kapcsolatban nem álló tantárgyak is szerepelnek az oktatási programokban. Az ismert vita részleteiben (lásd például Juhász-Nagy, 1992) most nem kívánunk elmélyedni, csupán a helyzetre hívjuk fel a figyelmet.

Feladatok a jövőben

A napirenden lévő egyetemi integráció kapcsán az ökológiai témakörök oktatásának helyzete is megváltozik. Amennyiben egy jelenlegi agráregyetem valamelyik nagy, sokkarú egyetemhez csatlakozik, akkor a meglevő természettudományi karok megfelelő szaktanszékei adhatják le az agrármérnök hallgatók számára is

A GATE poszgraduális képzése keretében oktatott kötelező (A) és szabadon választható (B) ökológiai-szünbiológiai tantárgyak

PhD-képzés:	Növényökológia alprogram (vezetője: Kovács Margit DSc) Ökofiziológia alprogram (vezetője: Tuba Zoltán DSc)
A tárgyak	Növényföldrajz Cönológia Funkcionális növényökológia Vegetációfiziológia Globális környezeti problémák ökofiziológiája Produkcio-ökofiziológia
B tárgyak	Vegetációtérképezés Ökofiziológiai praktikum Környezetterhelés ökofiziológiai indikációja Globális környezeti hatások mérési technológiai Ökofiziológiai folyamatok modellezése
Szakmérnökképzés: Környezetvédelmi Szakmérnöki Szak	Környezetvédelmi ökológia
Szakmérnökképzés: Vadászati Szakmérnöki Szak	A vadgazdálkodás ökológiai alapjai I – III.

az ökológiai témaköröket. Ilyen helyzetre lehet számítani Debrecenben. Más a helyzet Keszthelyen és Mosonmagyaróváron. Ezeken az egyetemeken nem kétséges, hogy az integráció kapcsán önálló ökológiai diszciplínát/diszciplínákat oktató tanszékekre is szükség lesz. Az Állatorvos-tudományi Egyetemen, egyedülálló módon az agrár-felsőoktatási intézmények között, már most is létezik Ökológia Tanszék. Az Állatorvos-tudományi Egyetem, a Gödöllői Agrártudományi Egyetem és a Kertészeti Egyetem integrációja után további szaktanszékek kialakítására is szükség lesz.

4. táblázat

**A PATE poszgraduális képzése keretében oktatott
ökológiai-szünbiológiai tantárgyak**

Intézmény, képzési típus	Tantárgyak
PhD-program: Integrált növényvédelmi módszerek elméleti alapjai (vezetője: Sáringer Gyula akadémikus, Debreczeni Béláné DSc)	Ökológia Növényföldrajz
Szakmérnökképzés: Természetvédelmi Szakmérnöki Szak	Állományfelvételezés és -terképezés Ökológia Természetvédelmi állattan Biogeográfia, rét- és erdőtipológia Hidrobiológia Biológiai monitorozás, restauráció- ökológia Tájökológia, tájvédelem Vadbiológia, vadgazdálkodás
Mezőgazdaság-tudományi Kar, Mosonmagyaróvár PhD-alprogram: A gyomnövények biológiája, ökológiája és az integrált szabályozás (vezetője: Czímber Gyula DSc)	Gyomnövények biológiája és ökológiája

5. táblázat

**A DATE poszgraduális képzése keretében oktatott
ökológiai-szünbiológiai tantárgyak**

PhD-program: Növénytermesztés és agroökológia (vezetője: Ruzsányi László DSc)	Ökológia Állatökológia
Környezetgazdálkodási szakmérnöki képzés	Ökológia

A Soproni Egyetem posztgraduális képzése keretében oktatott kötelező (A) és szabadon választható (B) ökológiai-szünbiológiai tantárgyak

PhD-program: Erdésettudományi program (vezetője: Mátyás Csaba DSc)	Geográfiai ökológia Ökológiai rendszerek anyagforgalma Interakciók növények és állatok között
Környezetvédelmi Szakmérnöki Szak	Ökológia I.
Természetvédelmi Szakmérnöki Szak	Ökológia II.

A távoli és a közelmúlt tapasztalatai azt mutatják, hogy a jövőben bekövetkező tényleges változásokat igen nehéz lenne előre jelezni. Konkrét célok megfogalmazása helyett ezért most csupán néhány szakmailag kívánatosnak tartott feladat megfogalmazására vállalkozunk. Ezek a következők:

1. Meg kell valósítani azt az elvet, hogy minden olyan hallgató, aki a mezőgazdaság-tudományok terén kap majd diplomát (agrármérnök, állatorvos, erdőmérnök, kertészmérnök stb.), a kötelező alapképzés keretében, önálló tárgyként tanuljon ökológiát.
2. Lehetőséget kell biztosítani arra, hogy speciális szakirányú képzéshez szükséges ökológiai tárgyakat is fel tudjanak venni a hallgatók.
3. Törekedni kell arra, hogy mindegyik agrártudományi egyetemen vagy agrártudományi karon *sensu stricto* ökológiai tanszék oktatói adják le a vonatkozó tantárgyakat, olyanok, akik ökológiai kutatási tevékenységet folytatnak.
4. Az agrártudományi alkalmazott doktorképzés keretében helyet, illetve nagyobb helyet kell kapnia az ökológiai tantárgyaknak és oktatásnak.
5. Meg kell teremteni a fenti típusú oktatás személyi, anyagi és tárgyi feltételeit.
6. Fentiek viszont csak a színvonalas ökológiai kutatómunka alapján valósulhatnak meg. Ezért az agrár egyetemi ökológiai oktatás vázolt fejlesztése csak az ökológiai kutatómunka ottani feltételeinek a biztosítása révén érhető el.

*

A szerzők köszönetüket fejezik ki dr. Hornung Erzsébetnek, dr. Bartha Dénesnek, dr. Czimmer Gyulának, dr. Jeanplong Józsefnek, dr. Juhász Lajosnak, dr. Pethő Menyhértnek és dr. Szabó Istvánnak, amiért az intézményeikre vonatkozó adatokat voltak szívesek rendelkezésükre bocsátani.

Irodalom

- (1) Bakonyi G.: Fábíán Gyula emlékezete. *Állattani Közlemények*, 1987/88, 74, 7–15.
- (2) Bakonyi G., Kiss I.: *Gödöllői Agrártudományi Egyetem Állattani és Ökológiai Tanszéke 1948–1998.* Jubileumi kiadvány, Gödöllő, 1998.
- (3) Bakonyi G., Juhász L., Kiss I., Palotás G.: *Állattan.* Mezőgazda Kiadó, Budapest, 1995.
- (4) Balogh J.: *A zoocönológia alapjai.* Akadémiai Kiadó, Budapest, 1953.
- (5) Bürgés Gy., Jermy T., Sáringer Gy., Szelényi G.: *Ökológia. Fejezetek a növényvédelmi rovaratan ökológiai alapjai tárgyköréből.* Keszthely, 1977.
- (6) Demeter, A., Kovács-Láng, E., Peregovits, L., Szentesi, Á. (szerk.): *Ecology in Hungary. A directory of organizations and personnel in ecological research and education.* Hungarian Natural History Museum, Budapest, 1995, 39–43.
- (7) Fábíán Gy., Molnár Gy., Széky P., Nagy E.: *Állattan.* Egyetemi jegyzet, GATE Mg. Kar, Gödöllő, 1961.
- (8) Fábíán Gy., Molnár Gy., Széky P., Nagy E.: *Állattan mezőgazdasági mérnökök részére.* Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 1965.
- (9) Fábíán Gy.: A „Mezőgazdasági állattan”, mint biológiai alapozó tantárgy oktatásáról az 5 éves agrármérnökképzésre való áttéréskor. *Agrártudományi Egyetem Értesítője*, Gödöllő, 1967, 13, 1–16.
- (10) Fábíán Gy., Jeanplong J., Nagy M., Rády M., Széky P.: *Ökológia.* Környezetvédelmi szakmérnöki jegyzet, Gödöllő, 1975.
- (11) Fábíán Gy.: *Ökológiai rendező elvek a környezet- és természetvédelemben.* Környezetvédelmi szakmérnöki jegyzet, Budapest, 1986.
- (12) Gallé L.: *Az állatökológia alapja.* Egyetemi jegyzet, Szeged, 1973.
- (13) Hortobágyi T.: *Növénytan.* Tankönyvkiadó, Budapest, 1962, 997 p.
- (14) Hortobágyi T.: *Növénytan.* Tankönyvkiadó, Budapest, 1963, 998 p.
- (15) Hortobágyi T.: *Növénytan 2. Növényrendszertan és növényföldrajz.* Tankönyvkiadó, Budapest, 1968, 647 p.
- (16) Hortobágyi T.: *Agrobotanika 2.* Gödöllő, 1972, 187 p.
- (17) Hortobágyi T.: *Agrobotanika.* Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 1974, 471 p.
- (18) Hortobágyi T. (szerk.): *Agrobotanika.* Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 1980.
- (19) Hortobágyi T., Simon T.: *Növényföldrajz, társulástan és ökológia.* Tankönyvkiadó, Budapest, 1981, 546 p.
- (20) Hortobágyi T.: *Agrobotanika.* Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 1986, 646 p.
- (21) Horváth I., Jeanplong J., Précsényi I.: *Növényökológia – Növényföldrajz – Biometria. Botanika II/2.* Agrártudományi Egyetem, Mezőgazdaságtudományi Kar, Gödöllő, 1962.
- (22) Jeanplong J.: *Ökológiai növényföldrajz.* In Hortobágyi T. (szerk.) *Agrobotanika.* Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 1970.
- (23) Jeanplong J., Précsényi I.: *Növényföldrajz, növényökológia.* In Hortobágyi T. (szerk.): *Agrobotanika.* Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 1980, 428–450.
- (24) Jeanplong, J.: *A Gödöllői Agrártudományi Egyetem Növénytani és Növényélettani Tanszékének története: 1920–1985.* Jubileumi kiadvány, Gödöllő, 1995.
- (25) Juhász-Nagy P., Vida G.: *Szupraindividuális organizáció.* In Csaba Gy. (szerk.): *A biológiai szabályozás.* Medicina Könyvkiadó, Budapest, 1978.
- (26) Juhász-Nagy P.: *Beszélgetések az ökológiáról.* Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 1984.
- (27) Juhász-Nagy P.: *Egy operatív ökológia hiánya, szükséglete és feladatai.* Akadémiai Kiadó, Budapest, 1986.
- (28) Juhász-Nagy P.: *Vázlatok az ökológiai kultúra tematikájához.* Természet- és Környezetvédő Tanárok Egyesülete, Budapest, 1992.
- (29) Kovács, M., Tuba, Z.: *A Gödöllői Agrártudományi Egyetem Növénytani és Növényélettani Tanszékének története: 1985–1995.* Jubileumi kiadvány, Gödöllő, 1995.
- (30) Köllös G., Molnár Gy., Nagy E., Széky P.: *Rendszeres állattan.* Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 1956.

- (31) Máthé I. (1952a): *Mezőgazdasági növénytan. A Növénytermesztési Kar I. évf. számára.* VI. füzet. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 1952.
- (32) Máthé I. (1952b): *Ökológiai növényföldrajz.* In *Mezőgazdasági növénytan. A Növénytermesztési Kar I. évf. számára.* VI. füzet. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 1952, 15–59.
- (33) Móczár L.: Dudich Endre – a faunakutató. *Állattani Közlemények*, 1996, 81, 137–140.
- (34) Nagy M.: *Megemlékezés dr. Fábán Gyula professzorrról.* Kézirat, előadta a szerző a Magyar Orvostörténelmi Társaság 1991. március 21-i ülésén.
- (35) Sáringer Gy. (szerk.): *Ökológia (Fejezetek a növényvédelmi rovarok ökológiai alapjai tárgyköréből).* Egyetemi jegyzet szakmérnökök részére, Keszthely, 1988.
- (36) Sebestyén O.: *Bevezetés a limnológiába.* Akadémiai Kiadó, Budapest, 1963.
- (37) Simon T.: *Talajtan, mint a növényökológia alapja.* Egyetemi jegyzet, Budapest, 1963.
- (38) Soó R.: *Növényföldrajz.* Magyar Természettudományi Társulat, Budapest, 1945, 205 p.
- (39) Szabó I.: *Növényökológia.* In Turcsányi G. (szerk.): *Mezőgazdasági növénytan.* Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest, 1995, 555 p.
- (40) Tuba, Z., Csintalan, Zs., Szente, K., Nagy, Z. and Grace, J.: Carbon gains by desiccation tolerant plants at elevated CO₂. *Functional Ecology*, 1998, 12, 39–44.
- (41) Tuba Z.: MTA–GATE Növénytani és Növényélettani Kutatócsoport. In Dohy J. et. al. (szerk.): *Magyar Tudományos Akadémia. Támogatott Kutatóhelyek.* Budapest, 1999, MTA, 274–277.

A szupraindividuális organizációkkal (SIO) kapcsolatos tantárgyak helyzete a Berzsenyi Dániel Főiskolán

A rendszertani tárgyak és a növénytársulástan tananyaga a Berzsenyi Dániel Tanárképző Főiskolán nagy vonalakban megegyezik az egyetemi tankönyvek tematikájával.

Az ökológiaszemináriumokon az alábbi témaköröket tárgyaljuk:

- Általános ökológia (a szünbiológia fogalma és felosztása, a környezet, tolerancia, niche fogalma, környezeti tényezők és erőforrások);
- populációbiológia (populációk térvizonyai, populációdinamikai modellek, populációk szabályozása, életmenet-stratégiák, interpopulációs kölcsönhatások, predációs és kompetíciós modellek);
- viselkedésökológia (az altruizmus, a territorialitás, az ivari szelekció és ivadékgondozás);
- közösségökológia (az életközösségek faj- és egyedszámviszonyai, diverzitása, stabilitása, az életközösségek térbeli és funkcionális szerkezete, szukcesszió);
- produkcióbiológia (az életközösségek anyag- és energiaforgalma, táplálékláncok, biogeokémiai ciklusok);
- Természetvédelem (a természetvédelem fogalma, feladatai, szervezetei, veszélyeztetett fajok és életközösségek, nemzetközi természetvédelmi egyezmények).

Egy jegyzetet vagy tankönyvet sem használunk kötelező irodalomként a fenti témákhoz, mert egyesek bizonyos témakörökben jóval részletesebbek, mások sokkal szegényesebbek, mint amit e tantárgyon belül, az adott órakeretek között a tanárjelöltek számára szükségesnek tartunk tanítani.

Az ökológiai terepgyakorlatokon (Tömördi Madárvárta) növény- és állatpopulációk, valamint növénytársulások és állatközösségek vizsgálata kapcsán néhány egyszerűbb kvantitatív ökológiai (például diszpergáltsági, diverzitási, szimilitási indexek), illetve statisztikai módszerek alkalmazását is megtanulják a hallgatók.

A biogeográfia az egyetemeken gyakorlatához hasonlóan két témakörben, a dinamikus (a szétterjedés és kolonizáció, az area elemzése, sziget-biogeográfia,

speciáció) és regionális (biomok jellemzése, hazánk élővilága) biogeográfiában kerül tárgyalásra. Hazánk legjellemzőbb életközösségei (Keszthelyi-hegység, Rába-völgy, Őrség, Vendvidék, Kis-Balaton, Mezőföld, Kiskunság), valamint a magashegység (Alpok, Kárpátok) és a tenger (Adria) élővilága terepgyakorlatokon kerülnek bemutatásra és megbeszélésre.

A SIO-tantárgyakba beleértjük a taxonómiát is, hisz a szünbiológiai jelenségek és az ökológiai modellek a valóságos, fajismereten alapuló példák nélkül formálisak.

Az alábbi táblázatunk a SIO-tantárgyak helyét mutatja a képzési program szerkezetében

1. táblázat

Félévek, heti oktatott óraszám, számonkérés módja						
	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.
Növényrendszertan	2+2 gyj	2+2 sz, gyj	–	–	–	–
Állatrendszertan	–	2+2 gyj	2+3 sz, gyj	–	–	–
Növénytársulástan	–	–	2+1 k	–	–	–
Ökológia (szem.) – biogeográfia (ea)	–	–	–	–	0+1 ai	2+2 k
Terepgyakorlat	3 nap ai	–	5+5 nap ai	–	5 nap ai	1 nap ai

(sz = szigorlat, k = kollokvium, gyj = gyakorlati jegy, ai = aláírás)

A biológia szakos hallgatók összes kötelező heti óraszama a nyolc félév során $38+61=99$, ebből a SIO-tárgyak óraszama a terepgyakorlatok nélkül $10+12=22$.

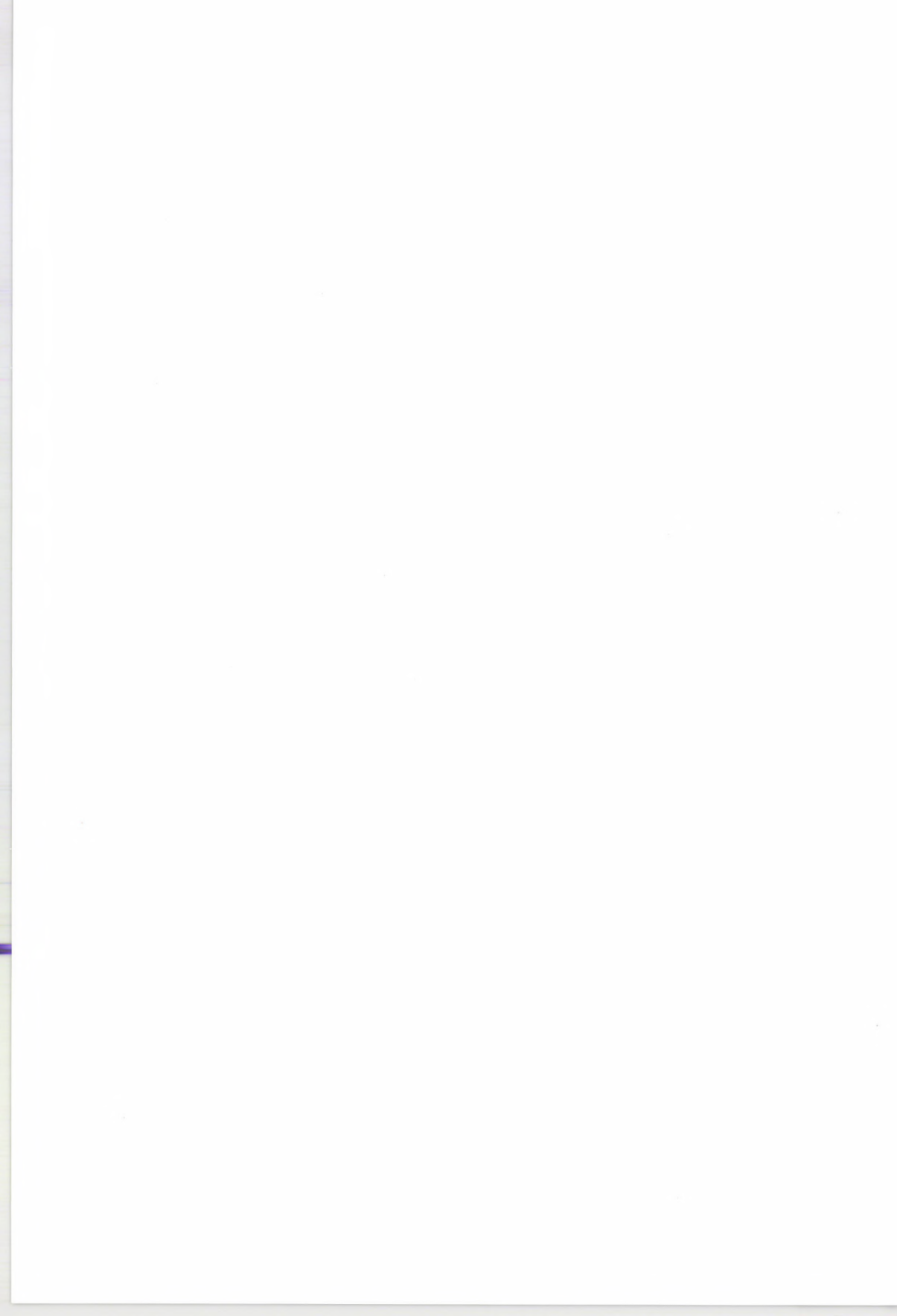
Az évfolyamok létszáma 50 fő körül alakul.

A SIO-tárgyakhoz kapcsolódóan viszonylag sok (évente körülbelül 8-10) hallgató választ ökofaunisztikai, cönológiai, populációbiológiai témát tudományos diákköri dolgozatának, illetve szakdolgozatának elkészítéséhez. Egy-két hallgató jó eredményt, helyezést vagy különdíjat ér el a kétévente megrendezett OTDK-n.

A növényrendszertan és növénytársulástan oktatását 1 főiskolai tanár és 1 főiskolai docens végzi, akik a növénysszervezetten oktatásába is besegítenek. Az állatrendszertan és az ökológia-biogeográfia oktatását 1 főiskolai tanár és 1 főiskolai docens végzi. Ez a szükséges minimum, ami azt jelenti, hogy az egyik tanár hosszabb idejű távolléte (betegség, külföldi út) az oktatást alapjaiban veszélyeztetné, különösen a terepgyakorlatok idején. Laboráns nincs a gyakorlatok, terepgyakorlatok előkészítéséhez. Csak személyi bővítés esetén lehetne gondolkodni a SIO-tantárgyak lényeges fejlesztésén és átrendezésén, például a populációbiológia, a kvantitatív ökológia vagy a viselkedésökológia külön tárgyként

való oktatásán. Tárgyi fejlesztésre, például egy oktatásra alkalmas számítástechnikai laborra, abiotikus környezeti tényezők mérésére alkalmas eszközök beszerzésére is szükség volna.

A középiskolai és különösen az általános iskolai tanárképzést a szakbiológusképzésen belüli szakosodás kérdése közvetlenül nem érinti. Minthogy azonban Pécs környékét nem számítva, Nyugat-Magyarországon még középiskolai biológiatanár-képzés sincsen, e régióból a Berzsenyi Dániel Tanárképző Főiskola 16 éves oktatási tapasztalattal rendelkező biológiai tanszékeinek véleménye és helyzete vehető figyelembe. Ez idő szerint tudományegyetemi szellemű biológiai képzés Nyugat-Magyarországon elsősorban itt folyik. Éppen ezért országos viszonylatban kívánatos volna, hogy lemaradásunk az országos képzési szinthez képest ne növekedjék, hanem csökkenjen. Ezért minden fórumot felhasználunk annak kifejezésére, hogy nagyon szűkösek a lehetőségeink, és a különösen kicsiny oktatói létszám a biológiaoktatás biztonságát és színvonalát folyamatosan veszélyezteti.



Az ökológiai képzés helyzete és feladatai a tanárképzésben (az egri főiskola példáján)

A felsőoktatásban az ökológiaoktatás szempontjából is különleges helyet foglalnak el a pedagógusképzést (is) folytató intézmények. Kettős elvárásnak kell megfelelniük:

- A *biológia szakosok* képzésében a számos biológiai részdiszciplína vetélkedése közepette biztosítani kell az ökológia, tágabb értelmezésben a szünbiológia számára a tudományban betöltött rangjának (súlyának) megfelelő helyet. Az óraszámoknak, a diplomához szükséges kreditpontok számának, a tananyag minőségének és mennyiségének, a szünbiológiai kutatásokhoz szükséges technikai és infrastruktúra fejlesztésének tükröznie kell a tudományterület fontosságát. Ezek növelése a jelenlegi kvázi maximált óraszámú képzésben valószínűen csak a klasszikus területek rovására, azok részarányának mérséklésével lehetséges.
- Eleget kell tenniük azon társadalmi elvárásoknak, hogy a felsőoktatás (egyetem és főiskola egyaránt) modern *ökológiai szemlélettel rendelkező szakembereket* képezzen. Természetesen ez nemcsak a biológia szakosokra vonatkozik (náluk ez elemi követelmény), hanem valamennyi szakterületre. Ehhez azonban jelentősen szélesíteni kell az ökológiát elfogadható szinten tanuló hallgatók táborát. Sőt, az lenne a kívánatos, ha szakterülettől függetlenül nem kaphatna diplomát az, aki kötelező jelleggel nem hallgatott ökológiát. (A gondolat nem új, Jakucs Pál már 1978-ban megfogalmazta ezt egy országos tanácskozáson Balatonfüreden.)

Az ökológia a környezetvédelem és a természetvédelem egyik alaptudománya is. Ha elfogadjuk, hogy a fenntartható fejlődés csak a társadalom széles rétegeinek úgynevezett környezettudatos magatartásának kialakításával valósítható meg, akkor azt is el kell fogadnunk, hogy ebben a pedagógusokra hárul a legnagyobb felelősség. Az egyetemeknek és a főiskoláknak tehát minden lehetőséget meg kell ragadniuk ahhoz, hogy a pedagóguspályára készülők és a már pályán levőket alkalmassá tegyék e feladatra. Nem elég tehát a biológia szakosok egyre több és mélyebb ökológiai ismeretekkel való felvértezése. Nem vonható kétségbe

ennek szükségessége, ám legalább ilyen fontos elsősorban a természettudományi szakokon tanulók, de mellettük a humán szakosok, a tanítók, sőt az óvópedagógusok ökológiai képzése. Számukra azonban nem mélyenszántó elméleti avagy kvantitatív ökológiát kell tanítani. A praktikus, a legfontosabb összefüggések megértéséhez és a pozitív környezeti attitűdhez elégséges, elsősorban szemléletformáló ökológiai, környezet- és természetvédelmi (talán inkább természetismereti) tudásra van szükségük. A kutatásban vagy az ipari, mezőgazdasági stb. termelésben praktizálók, illetve a pedagógusok számára ezért más-más jellegű (és mélységű) képzés kell.

Nem célszerű a főiskolákat egy kalap alá véve ítélkezni, ugyanis más-más korosztállyal való foglalkozásra készít fel az óvóképző főiskola, a tanítóképző főiskola és a tanárképző főiskola. Bizonyára senki sem vitatja, hogy az ökológiai ismeretek terén is más-más mennyiségű és minőségű ismeretekre van szüksége az ott diplomát szerző pedagógusoknak. Leginkább a tanárképző főiskolák képzési rendszere hasonlítható össze az egyetemekével.

Tradicionálisan a főiskolákon csak a biológia szakos tanárképzés tanterve tartalmaz szupraindividuális (és abban ökológiai) jellegű tantárgyakat. 1984-ig *növényföldrajz és ökológia*, illetve *állatföldrajz és állatökológia* címmel tanítottak szupraindividuális biológiát, amelyhez 3 nap terepgyakorlat is tartozott. A két féléves, heti 3+3 órás részképzés záróvizsgával fejeződött be. Az 1984. évi tanterv e tárgyakat környezetbiológia (szünbiológia) címmel egy tantárgyba integrálta. A *környezetbiológiát* 2 félévben heti 2 órában tanították, és egyhetes terepgyakorlat egészítette ki. A számonkérés az 1. félév végén kollokviummal, a 2. félév végén pedig szigorlattal történt. 1992-ben az újabb tantervi reform eredményeként gyakorlatilag szűkült a szünbiológiai ismeretek oktatása. Megmaradt a 2 féléves, heti 2 órás időarány, de megszűnt a környezetbiológiai terepgyakorlat. Sőt, szemléletében is változott a képzés, hiszen az egységes rendszerszemléletet sugalló szünbiológia helyett ismét *ökológia* került a tantervbe. A gyakorlatban ismét szétvált az ökológia *növény-* és *állatökológiára*. Jelenleg kötelező jelleggel a biológia szakosok 2 féléven keresztül heti 2 órában hallgatnak *ökológiát*, kollokviumi számonkéréssel. Ilyen tárgyú terepgyakorlaton nem vesznek részt (lásd 1. táblázat). A kötelezően és szabadon választható tanegységek ugyan lehetőségeket biztosítanak további speciális szünbiológiai ismeretek szerzésére, ezzel azonban a hallgatók többsége nem él.

Az oktatáshoz többségében az egyetemeken oktatott tankönyveket és jegyzeteket használják kötelező vagy kiegészítő szakirodalomként.

Az ökológia oktatásának egyféle szélesítését jelenti a környezeti (környezetvédelmi, környezettani) képzés. Többek között e cél vezérelte a tanárképző főiskolákat, amikor éppen egy évtizeddel ezelőtt kezdeményezték a *környezetvédelem* tanárszak megalapítását és indítását (Eger, Szeged). Sajnos – rosszul értelmezett

érdekek védelmében – a főiskolákon csak biológiával társítva engedélyezték azt 1992-ben. Néhány év késéssel az egyetemek természetesen már kémiával, fizikával és földrajzzal párosítva is jogot kaptak a *környezettan szakos* képzésre. Többszöri kérés ellenére a főhatóság indoklás nélkül elutasította a főiskolák ilyen irányú igényét.

A környezetvédelem szak tantervének kidolgozásánál arra törekedtünk, hogy abban kellő arányban szerepeljen a holisztikus és rendszerszemléletet biztosító természettudományi képzés. A földtudományi, a fizikai, a kémiai és a biológiai alap- és törzsképzési ismeretek számonkérése a részfelévekben gyakorlati jeggyel és kollokviummal történik, de valamennyi terület szigorlattal zárul. A kötelező biológiai ismereteket összesen 220 órában tanítjuk. Mivel a biológia szakon valamennyi biológiai ismeretet megszereznek a hallgatók, a környezetvédelem szakon elsősorban a szupraindividuális biológia kerül előtérbe, amelyet négy tanegységben oktatunk: *a környezetvédelem ökológiai alapjai, táj- és településökológia, a természetvédelem alapjai*, valamint *ökológia és környezetelemzés*. Ez utóbbi tanegység összefüggő ötnapos terepgyakorlat formájában valósul meg.

A terepgyakorlatok technikai háttere jó. Az ökológiai folyamatok, kutatások bemutatását szolgálja a Nagy-Eged-hegyen kiépített természetismereti tanösvény és a „Síkfőút Project”. Az ökológiai és környezetelemzési terepgyakorlatok lebonyolításához pedig Tiszafüreden építettünk ki terepgyakorlati bázishelyet, ahol 40 fő részére szállás, kommunális létesítmények, kutatóház és közlekedési eszközök állnak rendelkezésre. A környezetvédelmi gyakorlatok életszerű lebonyolítását 12 intézménnyel kötött együttműködési megállapodás segíti, amelyek között nemzeti park-igazgatóság, önkormányzat, ipari üzem és környezetvédelmi felügyelőség egyaránt van.

Nagyon fontos, hogy a régebben pályára került szaktanárok szervezett formában is részesülhessenek környezeti és szupraindividuális biológiai képzésben. Ennek érdekében az egri főiskola kidolgozta a *Természetismeret és környezetkultúra* szakirányú továbbképzési szak tervét, amelyet az Oktatási Minisztérium ez év tavaszán megalapított. Így 1999 szeptemberétől valamennyi természettudományi szakon végzett tanár számára lehetőség lesz a környezeti (s annak részeként az ökológiai) továbbképzésre. E levelező szakon a biológia szakos nappali tagozatnak megfelelő óraszámban (60 óra) biztosítanak konzultációt és terepgyakorlatot a képzésben részt vevőknek a szupraindividuális biológiai ismeretek elsajátítására.

Más területen is szélesíteni akarjuk az ökológiai kultúra bázisát. Olyan *környezetvédelmi specializáció* programokon dolgozunk, amelyek rövid időn belül lehetővé teszik valamennyi természettudományi szakon és több nem tanári szakon (gazdálkodás szak, biológus operátor szak, idegenforgalom szak) a környezetvédelmi szakirányú részképzést. Az egri főiskolán a jelenlegi ökológiai, illetve szünbiológiai jellegű tanegységeket a számonkérés módjával együtt az 1. táblázat mutatja.

Az ökológia- (és szünbiológia-) tanegységek jellege,
óraszámja és számonkérési formája az egri főiskolán (óra/vizsga)

Tanegység	Szak	Biológia tanári szak	Környezetvédelem tanári szak	Természetismeret és környezetkultúra tanári szak	Földrajz tanári szak	Gazdálkodás nem tanári szak	Idegenforgalmi ügyintéző-falusi turizmus menedzser ft.-szakképzés
<i>Törzsképzés</i>							
– ÖKOLÓGIA	60 / k	–	–	–	–	–	–
– A KÖRNYEZETVÉDELEM ÖKOLÓGIAI ALAPJAI	–	45 / sz	–	–	–	–	–
– ÖKOLÓGIA ÉS KÖRNYEZETELEMZÉS	–	50 / gy	40 / gy	–	–	–	–
– TAJ- ÉS TELEPÜLÉSÖKOLÓGIA	–	15 / gy	–	–	–	–	–
– A KÖRNYEZETTAN ÖKOLÓGIAI ALAPJAI	–	–	10 / k	–	–	–	–
– ÖKOTURIZMUS	–	–	–	–	30 / k	30 / k	–
– A TERMÉSZETVÉDELEM ALAPJAI	–	120 / k, gy, sz	10 / k	–	–	–	–
<i>Kötelezően választható</i>							
– HIDROBIOLÓGIA	30 + 30 / k, gy	30 + 30 / k, gy	–	–	–	–	–
– KÖRNYEZET- ÉS TERMÉSZETVÉDELEM	30 / k	–	–	–	–	–	–
– NÖVÉNYFÖLDRAJZ	30 / k	–	–	–	–	–	–
– BEVEZETÉS A PALEOÖKOLÓGIÁBA	30 / k	–	–	–	–	–	–
– TERMÉSZETVÉDELMI BIOLÓGIA	–	30 / k	–	–	–	–	–
– PALEOÖKOLÓGIA	–	–	–	30 / k	–	–	–
<i>Szabadon választható</i>							
– Talajtan	15 + 15 / k, gy	–	–	–	–	–	–
– Növénytakar	15 + 15 / k, gy	–	–	–	–	–	–
– Tengerökológia	30 / k	–	–	–	–	–	–
– Termelési biológia	15 / k	–	–	–	–	–	–
– Fotoszintézis-ökológia	30 / k	–	–	–	–	–	–
– Bentosztatenger-ökológia	30 / k	–	–	–	–	–	–
– Environment Science	–	60 / k	–	–	–	–	–

k = kollokvium; sz = szigorlat; gy = gyakorlati jegy

Az ökológiai képzés feladatai között fontos a posztgraduális képzés is. A *pedagógusok környezeti továbbképzésében* alapvető szerepet kell kapnia a felsőoktatási intézményeknek, mert csak így garantálható a színvonalas – elsősorban nem piaccentrikus – tudományos igényű továbbképzés. Ehhez Egerben is komplex programcsomagot dolgoztunk ki. A továbbképzési programok típusait a 2. táblázat mutatja. Közös bennük, hogy valamennyi tartalmazza a korszerű természetszemlélethez kellő szupraindividuális biológiai ismeretek elsajátításához szükséges tanegységeket és munkaformákat.

Az egri főiskolán a szupraindividuális biológiai képzésben négy tanszék illetékes. A Növénytani és az Állattani Tanszék közösen biztosítja az *általános ökológia* oktatását, a Környezettudományi Tanszék a környezetvédelem szakosok speciális képzését végzi, a Növényélettani Tanszék pedig a szabadon választható *fotoszintézis-ökológiát* tanítja. Az előadásokat 3 egyetemi tanár, 2 főiskolai tanár és 2 főiskolai docens tartja, akik a gyakorlatok lebonyolításában is részt vesznek.

Más főiskolán folyó ökológiai képzés jelenlegi állapotáról nincs naprakész áttekintés. Tájékoztató adatokra talán az MTA Természetvédelmi Bizottsága megbízásából 1995-ben történt felmérés szolgálhat. E felmérés elsősorban a természetvédelmi képzés helyzetét vizsgálta, de a főiskolák által kitöltött felmérő lapok adataiból következtetni lehet az ökológia oktatására is. Eszerint „ökológia” címszóval kevés intézményben oktatnak, de 116 tantárgyat jelöltek meg, amelyek 5–100% részarányban ökológiai ismereteket is tartalmaznak. Összességében az adatokból interpretálható becslés szerint körülbelül a főiskolai hallgatók 8–10%-a részesül valamilyen mértékben ökológiai képzésben.

Az ökológiai képzés helyzetének áttekintésekor sem célszerű a főiskolai és egyetemi képzés szintjének ismételt szembeállítását, a főiskolák becsmérése („felcserképzés”, zsákutca stb.). Tudomásul kell venni, hogy az ökológiai képzés színvonalában az egyes egyetemek között is eltérés van, meg a főiskolák között is. Más-más szintű problémák megoldására készítenek fel, s ebben célszerű inkább együttműködni.

Az egyetemeken a nem tanári szakok fő feladata az egy-egy tudományterület művelésére irányuló magas szintű felkészítés. Az „egyszakosság”-ból fakadó időtöbblet és szakválasztást motiváló mélyebb érdeklődés lehetővé teszi és meg is kívánja a szaktudomány magasabb régióiba történő betekintést, sőt számos speciális területen az elmélyülést is. Az itt végzett szakbiológusok egy része kutató lesz, vagy a gazdaság különböző ágazataiban helyezkedik el. Egészen más a helyzet a pedagógusok képzésében. Ők többségükben kétszakosak, általában az egyik szaknak jobban elkötelezettek, és a két szak szaktantárgyai (tanegységei) mellett tanulniuk kell a pedagógiai tantárgyakat és teljesíteniük a gyakorlatokat is. Számukra sem a képzés időtartama, sem az elvégzendő feladatok mennyisége (sőt az érdeklődés szintje) sem teszi lehetővé, hogy az egyes résztudományokban

A környezetpedagógus-továbbképzések formái az Eszterházy Károly Főiskolán

Szak/tanfolyam neve	Időtartam	Jelentkezés feltétele	Kimenet (végzettség)	Résztvevők köre
Környezetvédelem szak (levelező tagozat)	6 félév	Biológia szakos diploma	Új szakdiploma	Biológia szakos általános és középiskolai tanárok
Természetismeret és környezetkultúra szakirányú továbbképzési szak	4 félév vagy modulrendszerben 6 modul	Valamilyen természet-tudományi szakon szerzett diploma	Új szakirányú továbbképzési szakdiploma	Biológia, kémia, földrajz, technika, fizika, mg.-i ismeretek, egészség-tan-mentálhigiénia szakosok
Ember és természet integrált továbbképzés	1 év (120 óra)	Nincs	Tanúsítvány	Pedagógusi és nem pedagógusi munkakörben dolgozó érdeklődők
A természet és a környezetpedagógia természettudományi alapjai I.	4 hónap (100 óra)		Tanúsítvány, a feltételek megléte esetén beszámítható modulként a „Természet-ismeret és környezet-kultúra” szaknál	
A természet és a környezetpedagógia természettudományi alapjai II.				
Természettudományi ismeretek környezeti specifikumai				
Környezettani ismeretek				
Környezeti módszerek és gyakorlatok	5 nap terepgyakorlat (50 óra)			
A tanári mesterség időszerű kérdései a környezetpedagógiában	4 hónap (80 óra)			
Környezet- és természetvédelmi szaktáborvezetés	5 nap terepgyakorlat (50 óra)			Tanúsítvány

(s benne a szupraindividuális biológiában) olyan mennyiségű és mélységű ismereteket szerezzenek, mint például a szakbiológusok. De nincs is rá szükségük, hiszen ők többségükben a társadalmi munkamegosztás egy másik szektorában, az oktatásban fognak elhelyezkedni. E munkakör pedig más típusú és tartalmú ismeretet és készségeket kíván meg. A főiskolákon az elmélyültebb szünbiológiai ismeretszerzés egyik formája az e témában készülő szakdolgozatok és diákköri munkák szorgalmazása. Évente a hallgatók mintegy 15-20%-a él ezzel a lehetőséggel. A tanárképző főiskolákon jelenleg biológia szakon gyakorlatilag csak pedagógusképzés folyik. Az intézmények e feladatra mind személyi, mind infrastrukturális felkészültségük alapján képesek.

Az ökológia oktatása a 21. század küszöbén és az internet

Bevezetés

Az ökológia oktatásának egy lényeges, stratégiai kérdésével szeretnék foglalkozni, melyet egy új közeg, az internet megjelenése tesz szükségessé. Jól látható (például az Amerikai Egyesült Államokban, ahol az internet használata általánosan elterjedtnek mondható), hogy az internet megjelenése egy újfajta nyilvánosságot hoz létre, az új jelenségek minden jó és kevésbé jó hozadékával. A tudomány és az oktatás képviselői az elsők között voltak hazánkban is az internet birtokba vevői között. A különféle általános és speciális célú levelezőlisták a tudományos információcseré fontos forrásai. A honlapok alapvető információforrást jelentenek az oktatási intézmények oktatási profiljáról, a kutatóintézetek kutatásairól. Ismeretterjesztő anyagok, tananyagok és tankönyvek, valamint adatbázisok kivételesen nagy választékban hozzáférhetők az interneten. A világban egyre több oktatási program van, ami interneten zajló tanfolyam formájában történik, időnként és esetlegesen személyes konzultációkkal kiegészítve. Ott, ahol az átviteli sebesség lehetővé teszi, ezt is videókonferencia formájában oldják meg. Ez egyébként a kis létszámú tudományos összejövetelek rendezésének egy rohamosan terjedő, új módja is.

A világban mindenhol egyre nagyobb szerep jut az internetnek az oktatásban. Az amerikai egyetemek esetében – bárki meggyőződhet róla az interneten – megtalálható, hogy mi az adott tantárgy tematikája, mi a kötelező és az ajánlott irodalom, melyek a vizsgatételek, ki tartja az órát, mikor és melyik teremben. A tantárgyat felvenni is elektronikusan kell, de ez már egy másik történet. Ennek a „nyilvánosságnak” egyrészt az oktatás minőségének biztosításában is nagy szerepe van, másrészt egyfajta – ami ugyanannak a dolognak a másik oldala – standardet hoz létre az oktatásban, mert naprakészen áttekinthető, hogy melyik egyetemen mit oktatnak. Ez mindenképpen hasznos, fontos és követendő dolog.

Maguk a tananyagok és különféle oktatási anyagok is felkerülnek az internetre, ami hasonló szerepet tölt be: standardet teremt. Ugyanakkor, és ez legalább ilyen fontos, bárki számára szabadon hozzáférhetők. Ilyen módon az ismeretek-

nek egy „végtelen” tárháza keletkezik. Itt fokozottan igaz: aki kimarad, az lemarad. Kimarad az ismeretátadás, az ismeret-átrendeződés és -újrateremtés folyamatából, és így előbb-utóbb, megfelelő színvonalú és hozzáférhetőségű oktatási anyagok hiányában, a tudományból is.

Ebből a rövid körképből is érezhető, hogy az internetes oktatás kérdése már ma is stratégiai jelentőségű. Nem mehetünk el mellette úgy, mintha nem is lenne. Ha a jelenlegi ökológiát oktató intézmények nem jelennek meg az interneten, akkor ezt a niche-t mások fogják betölteni. Az ökológusok számára aligha kell ezt a számukra jól ismert alapelvet és következményeit magyarázni.

Történeti áttekintés

Elsőként a hazai levelezőlistákról szeretnék említést tenni. Közülük is négyről, arról a négyről, amelyik elsőként jött létre, vagy valamilyen szempontból fontos szerepet töltött be. A továbbiakban a honlapokkal és a hálózati szerverekkel kapcsolatban vállalkoznék egy rövid visszatekintésre. Majd ezekkel és az ezeken megjelenő oktatási anyagokkal kapcsolatban a CD-n megjelenő multimédiás oktatási anyagokról, végezetül az interneten elérhető nyilvános, bárki számára hozzáférhető adatbázisokról lesz szó.

A hazai internetes kezdeményezések abban a sorrendben szerepelnek, ahogy ezek eljutottak hozzám. Ez a sorrend valószínűleg időbeliséget is jelent, de az internet esetén ez nehezen eldönthető, és most nem is központi kérdés; ez a sorrend semmiképpen sem jelent prioritást vagy értéksorrendet. Az első levelezőlista biodiverzitás-monitorozással kapcsolatban, praktikus célok megvalósítására jött létre (helyileg ekkor még a SZTAKI üzemeltetésében). A projekt egy kutatási konzorciumhoz kötődik, amelyet az ÖBKI (Vácrátót), az MTTM és a KLTE Ökológia Tanszéke hozott létre. A levelezőlisták közül másodikként a NuCoSA-ról beszélek, ami tudományos célú, a kvantitatív ökológiai célú módszerekhez kötődő levelezőlista volt, és kollégáimmal közösen hoztuk létre. Harmadikként az „ökológus”-levelezőlistát említeném, ami az AOTE-n a Zoológiai Intézethez kötődik, és a zoológusképzéshez kapcsolódó tudományos közösség információcseréjét szolgálja. Végül a Caltha levelezőlistát szeretném megemlíteni. Ez a legfiatalabb és jelenleg a legaktívabb is. Az MTA ÖBKI kutatói hozták létre. A lehetőségeket felismerve, internetes újságot is kiadnak a levelezőlistához kapcsolódóan.

A honlapokon az intézményekről, kutatási vagy oktatási projektekről található fontos információk. A különféle honlapokról jóval nehezebb számot adni, mint a levelezőlistákról, hiszen csak akkor találkozunk velük, ha valamilyen specifikus információt keresünk. Kollégámmal, Erdei Zsolttal az első között állítottunk üzembe Linux alatt működő hálózati szervert, majd később Unix alatt működő SUN munkaállomást, amelyek a KLTE Ökológiai Tanszék és a Ter-

resztris és Kvantitatív Ökológiai Részleg honlapjának adott helyet, bemutatta a részleg kutatási projektjeit; helyet adott továbbá négy helyi levelezőlistának, ökológiával, botanikával és zoológiával kapcsolatos oktatási és kutatási anyagoknak. Ma már számos tanszék, intézet és kutatási projekt rendelkezik saját honlappal, és 1-2 éven belül minden bizonnyal mindegyikük képviseltetni fogja magát az interneten is. Oktatási intézmények esetében ez, számos egyéb ok mellett, azért is szükséges, hogy a SuliNet program keretében internet-hozzáféréssel ellátott középiskolák diákjai megfelelően tájékozódhassanak arról, melyik egyetemen mit tanulhatnak. Ha verseny folyik a hallgatókért, akkor kulcskérdés, hogy ki az, aki már a rajtnál állva marad, és valójában nem is vesz részt a versenyben.

Mérföldkőnek tartom, amikor elindítottunk egy igen fontos kezdeményezést. Ennek első lépéseként létrehoztuk a TERRA alapítványt, aminek célja a környezetkultúra terjesztése a társadalom teljes vertikuma tekintetében. Második lépésként elkezdtük az első – azóta sikeresen lezárult – projektet, amelynek címe *Hazánk növényvilága* volt. Célunk egy olyan elektronikus oktatási anyag létrehozása volt, ami bárki számára hozzáférhető az interneten, és bemutatja a Kárpát-medence növényvilágát (magyar és angol nyelven). Az elektronikus vendégkönyv bejegyzése szerint az anyagot sokan látták Japántól az USA-ig, és a hazai TOP100 honlap között is sokáig szerepelt. Harmadik lépésként CD-n is hozzáférhetővé tettük az anyagot; a CD 1997-ben jelent meg. A sikerek, a szűkebb és a tágabb közösség érdeklődése nyilvánvaló. Az oktatási anyagoknak internetes és CD-n történő megjelentetése fontos új dimenzióval bővíti az oktatást és az ismeretszerzést. Internetes oktatási anyag egyelőre viszonylag kevés van. Multimédiás ismeretterjesztő anyagból szerencsére egyre növekvő a választék. Remélhetőleg a rangos oktatási és tudományos anyagok közül is egyre több fog megjelenni CD-n is; a legújabb, ami készülóban van, a Papp László akadémikus szerkesztette, *Zootaxonómia* című tankönyv új kiadása. A szakma mindig is nyitott volt a modern kezdeményezésekre. Az országban az egyik első, egyes adatbázisok szerint az első, CD-n megjelent könyvet Szabó T. Attila jelentette meg az elektronikus BioTár sorozatban *Orvosbotanika, életismeret, gyógyítás a XIV. századi magyar tudományban* címmel.

A KLTE Ökológiai Tanszék Terresztris és Kvantitatív Ökológiai Részlegén 1995-ben elkezdtünk egy munkát; tekinthetjük ezt egy hosszú távú oktatási projektnek, aminek célja on-line internetes oktatási anyagok készítése kvantitatív ökológiából és a hozzákapcsolódó témakörökből. A projekt számos részeredményt ért el, az érdemi áttörésre azonban még várni kell, mert semmilyen fórumon sem sikerült anyagi támogatást kapni rá. A szakmai színvonal elismerése mellett a pályázati rendszer bizottságai mindig kényelmesnek találták úgy látni, hogy ennek a projektnek támogatása nem az ő hatáskörükbe tartozik. Ugyanakkor költségesnek is ítélték. Egy ilyen projekt valóban költségigényes, hiszen meg-

felelő színvonalú hardver szükséges, mivel a berendezés folyamatos üzemeltetésű; másrészt a megbízható, a célnak megfelelő „jogtisztá” programok költsége is jelentős. Ha figyelembe vesszük, hogy a nyilvános, interneten elérhető oktatási anyagok potenciálisan milyen nagyszámú befogadóhoz jutnak el, akkor ez az egyik leghatékonyabb oktatási forma, ami jól megtérülő beruházás, és hosszú távon egészen bizonyosan nem tekinthető költségesnek!

Magyarországon az interneten nagyon kevés adatbázis hozzáférhető. Ennek számos oka van, többek között bizonyos szerzői jogi kérdések tisztázatlansága vagy a nemzetközitől eltérő értelmezése. Ha a helyzet így marad, akkor ez a szakma fejlődésének komoly gátját jelentheti. Nemzetközi tendencia a lehető legnagyobb nyilvánosság és a szerzői jogok erőteljes védelme. Több neves külföldi lap arra törekszik, hogy csak akkor fogadjon el cikket, ha a szerzők vállalják az alapadatok nyilvánosságra hozatalát (például interneten elérhető adatbázisban). Ez természetesen nem jelenti azt, hogy bárki újrafelhasználhatja az adatokat sajátjaként – de bárki számára korlátlanul és ingyenesen hozzáférhetők.

A jövőbeli stratégia kialakításának szükségessége

Egységes stratégia kialakításának szerepe és fontossága egyetlen pillanatig sem volt kétséges számomra. Ezért hívtam meg az MTA Ökológia Bizottságát 1997-ben, hogy látogasson el Debrecenbe, és vitassa meg az ezzel összefüggő kérdéseket. Általában a szakma reakciója erősen polarizált. Akik támogatják a szakmai haladást és a modern kezdeményezéseket, támogatják az internetes oktatási és egyéb anyagok készítését, míg mások teljes értetlenséggel állnak ezek előtt a kezdeményezések előtt. A jelenség kortól független; korántsem volna helyes nemzedéki konfliktusként beállítani, mivel nem az!

Az internet létezik, és így létezik az általa teremtett kihívás is. Éppen ezért sokkal szerencsésebb volna, ha a különféle kezdeményezések integrálva, összehangoltan és megfelelően koordinálva történnének, és így hatékonyabbak és reprezentatívabbak is lennének. Szükséges volna, hogy az Ökológiai Bizottság létrehozzon az internettel kapcsolatos kérdéseket koordináló bizottságot, megfelelő struktúrával. Elsősorban a (1) publikációs adatbázis és archívum, (2) intézményi és személyi adatbázis, (3) oktatási anyagok készítését koordináló és (3) levelezőlistákkal és egyéb internetes kezdeményezésekkel foglalkozó, azokat koordináló albizottságok létrehozása volna szükséges.

A továbbiakban leírt terveknek és javaslatoknak egy részét már mások is megfogalmazták ilyen vagy hasonló formában. Ez csak azt mutatja, hogy valós igény van ezek megvalósítására. Éppen ezért segítenünk kellene ezt a spontán módon elindult folyamatot.

Össze kellene állítani a magyar ökológia, pontosabban az egyedfőlötti szerveződési szint jelenségeivel foglalkozó kutatók on-line adatbázisát (magyar és angol nyelven), ami a hálózaton mindenki számára hozzáférhető. Egy ilyen anyag részben már elkészült a Budapesten rendezett Európai Ökológiai Kongresszusra, amelyet most megfelelően fel kellene újítani és hozzáférhetővé kellene tenni az interneten. Ez az adatbázis a különféle hazai intézmények (akik szakértőt keresnek) számára is hasznos; létfontosságú lenne az európai projektek szervezése során a külföldi partnerek számára, mivel a gyors és kényelmes tájékozódás lehetőségét jelenti. Szerves módon hozzátartozna ehhez a kezdeményezéshez az intézményi adatbázis elkészítése és hozzáférhetővé tétele az interneten. Hasonlóképpen szükség volna a kutatási projektek honlapjára. Szintén linkekkel kapcsolódhatnának a központi honlaphoz az egyes projektek, hiszen már ma is több hazai kutatási projekt rendelkezik saját honlappal.

Fontos említést tenni arról, hogy valamilyen módon folyóiratainknak is elérhetőnek kell lenniük az interneten. Ebben az *Abstracta Botanica* volt az első. Ma már az *Acta Zoologica Hungarica*, a *Tiscia* és a *Kitaibelia* honlapja is megtalálható a hálózaton. Hasznos volna, ha elkészülne a Magyarországon kiadott, az egyedfőlötti szerveződési szint jelenségeivel foglalkozó kutatásokhoz kapcsolódó folyóiratok honlapja. A viszonylag fiatal lapokkal együtt ez a szám akár 30–60 is lehet – szomorú, de még egy pontos katalógusunk sincs róluk. Az „impaktosakat” mindenki jól ismeri, de fontos lenne, hogy a többiek is nagyobb nyilvánosságot kapjanak, és ezt a szakma összefogása nélkül nem tudják elérni. Természetesen ez csak olyan módon képzelhető el, hogy azok a folyóiratok, amelyek saját honlapot tartanak fenn, ehhez a „központi” honlaphoz linkekkel kapcsolódjanak, azaz megtartják saját honlapjuk önállóságát. Az internet demokratikus képződmény, így aligha történhet bármiféle „központosítás” a résztvevők akarata ellenére.

Még ennél is fontosabbnak tartom azt a korábbi kezdeményezést, ami arra vonatkozik, hogy össze kellene állítani a Magyarországon megjelent vagy Magyarországhoz valamilyen módon kapcsolódó, az egyedfeletti szerveződési szint jelenségeivel kapcsolatos publikációk adatbázisát, és egyúttal hozzáférhetővé kellene tenni egy archívumban ezeket a publikációkat. Többen is tettek ilyen javaslatot, sőt többen szerveztek is ilyen adatbázist a szakma valamely részterületén. Ezeket össze kellene gyűjteni és valamilyen módon egységesíteni. Egyúttal szükséges volna a publikációs adatbázis mellett egy elektronikus archívum, egyfajta elektronikus könyvtár létrehozására is, ahol az eredeti publikációk találhatóak elektronikus formában (például postscript formában vagy AcrobatReaderrel olvasható pdf formátumban). Ennek főképpen a régebbi vagy nehezen hozzáférhető dokumentumok esetén volna jelentősége. Ez utóbbi feladat nyilvánosan hozzáférhető on-line formában nehezen oldható meg, egyrészt

a szerzői jogok, másrészt a hardver-igény miatt. Mindkettő könnyedén áthidalható lenne megfelelő anyagi támogatás esetén. A jelenlegi lehetőségeket figyelembe véve ennek az összegnek a 10%-a vagy némileg kevesebb áll rendelkezésre. Az azonban megoldható lenne, hogy legalább az *abstractok* szabadon hozzáférhetők legyenek, a teljes anyagok pedig külön kérésre, ahhoz hasonlóan, mint amikor fénymásolatot kérünk az Országos Széchényi Könyvtár szolgáltatása révén valamilyen publikációról.

Végezetül a számomra legfontosabból kell említést tennem. Ezek az internetes oktatási anyagok. Az egyedfölkötti szervezködkési szint jelenségeinek oktatöi és kutatói régöta küzdenek a megfelelő színvonalú oktatási anyagok részleges hiányával. Ennek okai jelentös részben történetiek. Nagy elszántság van a szakmában, hogy ezen változtasson. Így volt ez mintegy 15 évvel ezelött is, amikor az Ökológiai Bizottság részletesen foglalkozott ezzel a kérdéssel, és megvizsgálta a megoldás lehetséges módjait. Azóta részben felnött egy generáció, és több színvonalas mű született az ismeretterjesztéstől az egyetemi tankönyvekig bezárólag. A helyzet tehát lényegesen javult, azonban 40-50 év lemaradását nem lehet ennyi idő alatt behozni. Fölként úgy nem, hogy ezt a támogatási rendszer sem segíti elő. A szakmai szándék és elszántság önmagában még nem elég. Az internet ezen a kérdésen alapjaiban sajnos nem tud segíteni. Azonban mindenkinek kötelessége, hogy szakmai tudását, elhivatottságát és szakmai hitvallását minél szélesebb körben tegye ismertté, ezzel elősegítve a helyzet javulását. Az internet ennek a legjobb fóruma, ha a televízió nyújtotta, számos tekintetben egyoldalú lehetőségeket nem tekintjük. Különösen fontos volna tehát, hogy legyenek internetes oktatási projektek, és az is, hogy a hagyományos oktatási anyagok részben vagy egészen az interneten is hozzáférhetők legyenek, hogy ez a nyilvánossággal hozzájárulhasson a hagyományos megjelenés előtt a színvonal javításához, a szakmai konszenzus kialakításához, a megjelenés után pedig az anyag reklámjához. Az internet ugyanis nem versenytársa, hanem segítöje és társa a hagyományos oktatási formáknak!

GAZDASÁG- ÉS JOGTUDOMÁNYOK OSZTÁLYA

A 20. SZÁZAD FŐBB TANULSÁGAI ÉS A JÖVŐ ALTERNATÍVÁI

A világgazdaság fejlődésének főbb irányai és Magyarország a 21. század küszöbén

Sem a 2. évezred, sem pedig a 20. század nem volt különösen kedvező Magyarország számára. Ritkán viseltettek szimpátiával a magyarság iránt Európa hatalmasságai. Európa felemelkedésének kezdeteit egyes nyugati történészek a kalandozó magyarok tragikus augsburgi vereségétől számítják. A magyarságnak mint etnikai csoportnak s az országnak mint politikai egységnek fennmaradása többször került veszélybe, illetve vált kétségessé az évezred során. A 20. században is voltak olyan törekvések, amelyek fel akarták számolni Magyarországot, s a magyarságnak a kurdokéhoz hasonló sorsot szántak. Európában ebben az évszázadban a két világháború vesztes államai közül is a legnagyobb csapások vitathatatlanul Magyarországot érték. Területének kétharmadát elvesztette. Súlyos megrázkódtatásokkal, hibás döntésekkel, elszalasztott lehetőségekkel, hihetetlen mértékű veszteségekkel kövezte ki a történelem a magyar utat évszázadunkban. A világháborúk, rendszerváltások, gazdasági és politikai tévedések közel húsz esztendő munkájának eredményeit rabolták el. Az ország szellemi tőkéjét többször is elszegényítették a megrázkódtatások. Két jelentős és a magyar ipar, kereskedelem, illetve a mezőgazdaság szemszögéből is kulcsfontosságú népcsoport zsugorodott korábbi arányának töredékévé a politikai döntések nyomán: a németek és a magyar zsidóság. A rendszerváltások és a hibás, kirekesztő politikák évszázadunkban legalább ötször fejezték le az ország szellemi elitjét. Súlyos demográfiai problémák is kialakultak, amelyek a népesség csökkenésében s a lakosság elöregedésében jelennek meg a statisztikákban.

Mennyivel jobbak a lehetőségek egy sikeresebb időszakra? Mennyire vagyunk felkészülve a 21. század világgazdasági kihívásaira? Nagy valószínűséggel azok az országok számíthatnak sikerre a következő évtizedek integráltabb világában, amelyek kormányzását nem torzítták el szűk csoportérdekek vagy merev, ideológiai megfontolások, amelyek gyakorlatiasan képesek nemzetközi helyzetük, lehetőségeik és nemzeti érdekeik reális mérlegelésére, képviselésére és céljaik reális megfogalmazására. Ehhez meghatározó fontosságú a demokratizmus és társadalmi kohézió küszöbértékének, a közmegegyezés és a szakértelem szükséges minimumának biztosítása.

A siker lényeges feltétele a makrogazdasági stabilitás, kiszámíthatóság és áttekinthetőség fenntartása is, amelyek lehetővé teszik a gazdaság szereplői számára a racionális kalkulációkat a nemzeti gazdasági növekedés elősegítésére, illetve a képesség a gazdasági szerkezet szükséges átalakítására az erőforrások lehető leghatékonyabb hasznosításával, a gazdasági és politikai versengés előmozdítása mellett, a profitmaximalizálási törekvések következtében fellépő, a közérdeket sértő tevékenységek korlátozásával, a társadalom tagjainak többsége számára munkaalkalmak biztosításával és szociális biztonság fenntartásával. *A nemzetközi feltételeket illetően fontos követelmény, különösen a kisebb, a nemzetközi rendszertől függő országok esetében, a képesség a partnerek megfelelő megválasztására nemzetközi kapcsolataikban, s hogy partnereik politikája, magatartása ne destabilizálja őket, hanem kedvező kereteket nyújtson fejlődésükhöz. Ez még az Európai Unió tagjai esetében is meghatározó fontosságú marad. A partnerek közvetítik elsősorban a nemzetközi politikai és gazdasági változások hatását is, amelyek előadásom gerincét alkotják.*

Magyarország világgazdasági reintegrálódása a nemzetközi viszonyok radikális átrendeződése időszakában megy végbe. Ennek még viszonylag korai szakaszában vagyunk. A világgazdaságban a gazdasági és politikai szereplők és rendezőerők közötti új kölcsönhatások, különböző típusú és intenzitású politikai, gazdasági és pénzügyi válságok formálják a 21. század globális hatalmi viszonyait és az egyes térségek relatív helyzetét. A változások súlyos próbára teszik a nemzetközi együttműködés korábbi szakaszában kialakult intézményrendszert is. Feltételezve, hogy a világgazdaság integrálódásának folyamatai tovább folytatódnak, s nem futnak zátonyra a megoldatlan szociális gondok, valamint az államok közötti növekvő egyenlőtlenségek szikláin, Magyarországnak egy a mainál sokkal nagyobb mértékben nemzetköziesedett, jobban integrálódott, igen sok megoldatlan problémával küszködő, a versengést és az együttműködést egyidejűleg fenntartó, hierarchikus világra kell felkészülnie. Ebben a világban minden állam gazdaságpolitikájának elérhető céljait, az alkalmazható eszközöket növekvő mértékben meghatározzák és behatárolják a nemzetközi szabályok, kötelezettségek és más külső feltételek, ugyanakkor igen sok új lehetőséget is nyitnak a fejlődéshez. A verseny és az együttműködés sajátos keveredése jellemzi az államok viszonyát.

A világpolitika új erővonalai és kockázatai

A mai világpolitikai viszonyok egy új, kibontakozóban lévő világrend kezdeti szakaszaként jellemezhetőek. A második, sőt még az első világháborút követő világrend alkotóelemei közül jó néhány jelen van, de formálódnak az új szakasz erővonalai is. *A világpolitikában, amelynek hatalmi viszonyai meghatározó fontosságú-*

ak a világrend intézményeinek formálása szemszögéből, a kétpólusú hidegháborús rendszert még nem a többpólusú világrend, hanem sajátos hierarchikus szerkezet váltotta fel. A nemzetközi rendszerben az USA az egyetlen állam, amelyik rendelkezik egy globális hatalmi központ lényeges katonai, politikai és gazdasági dimenzióival. Ez a világ többi része számára két esetben válhat lényeges problémák forrásává. Az egyik az, ha az USA-ban az elszigetelődési politika kerekedne felül, Amerika magára hagyná a világot, és többé-kevésbé hasonló erőpozíciójú államok, feltörekvő vagy világhatalmi státusból összezsugorodott középhatalmak politikai versengése válna meghatározóvá. Az izolacionizmusnak az USA-ban jelentős hagyományai vannak. A másik veszély az amerikai unilateralizmus kizárólagossá válása, vagyis az USA-nak vélt vagy tényleges állami érdekei alapján történő olyan fellépése, amelyik nem számol kellő mértékben a világ többi részének helyzetével, realitásaival.

A jövő világpolitikai erővonalainak alakítása szemszögéből a hatalmi hierarchia többi vezető államának szerepe még meglehetősen bizonytalan. A globális hatalmi pozícióból lejjebb csúszott Oroszország elhúzódó válságban van, s még nem világos, milyen világpolitikai lehetőségekkel rendelkezik a hidegháború utáni szakaszban. A nyugati világ vezető hatalmainak kollektív érdekeit képviselni hivatott NATO jövője rövid távon nagymértékben függ a „jugoszláviai” válság kimenetelétől. Hosszabb távon az USA és Európa viszonyának alakulása, az európai térségen belüli hatalmi átrétegződés, a fejlett államok és a világ többi része közötti konfliktusok jellege és intenzitása határozzák majd meg a szövetség jövőjét.

A világpolitikai folyamatok alakulásában igen jelentős az is, hogy a globalizáció folyamatai ellenére az államok szerepe és az állami keretek és határok fontossága igen jelentős maradt, sőt politikai szempontból növekedett is. Jelentősen megnőtt s valószínűleg tovább emelkedik az államok száma is. A század elején 50 önálló állam létezett bolygónkon. 137 volt a gyarmati területek száma, s ezek 14 birodalom keretén belül léteztek.¹ A század végén 187 ország alkotja a világ politikai struktúráját, s számuk valószínűleg tovább nő. A birodalmak eltűntek. Soha az emberiség modern történetében nem létezett ennyi s ilyen mértékben különböző politikai és gazdasági lehetőségekkel rendelkező állam bolygónkon. A kisebb államok igen könnyen a regionális középhatalmak kliensállamaivá válhatnak Európában és Ázsiában, megfelelő és hatékony nemzetközi kollektív biztonsági rendszerek nélkül. A ma létező és korábbi veszélyek kezelésére alakult kollektív biztonsági szervezetek még nem alkalmazkodtak az új globális feltételekhez. Ezért sem képesek a rendszerben lévő nagyszámú megoldatlan etnikai problémának s a korábbi hatalmi döntések által kialakított határok politikai következményeinek új módon való kezelésére. A globális

1 J. A. Hobson: *Imperialism. A Study*. George Allen-Unwin Ltd., London, 1902.

egyenlőtlenségek növekedése is súlyosbítja az etnikai feszültségeket.² Lényeges problémákat okoznak a regionális hatalmak, sőt egyes kisebb államok hatalmi ambíciói is. Mindezek miatt számottevően nőtt a bizonytalanság és a kockázat a világpolitikában. *Magyarország a világ olyan térségének peremén helyezkedik el, amelyik a megoldatlan problémák és az úgynnevezett magas kockázatú államok viszonylag nagy száma miatt a világ politikai destabilizálódásának egyik veszélyzónája.*³

A századvég világgazdasága

Az elmúlt évtizedek tapasztalatai azt bizonyították, hogy sem a világpolitikai rendszer, sem a világgazdaság nem képesek megfelelően működni, ha az államok érdekeinek harmonizálására, a konfliktusok mérséklésére, a válságok kezelésére nincsenek megfelelő és hatékony mechanizmusok. A század végén a világpolitikai viszonyok bizonytalanabbá válása olyan időszakban nehezíti meg a kor szükségleteinek megfelelő globális nemzetközi gazdasági együttműködést, amikor erre minden korábbinál nagyobb szükség lenne. Az emberiség közös demográfiai, ökológiai és szociális gondjainak megoldatlansága és új problémák megjelenése súlyos teherként nehezedik a világra. A világgazdaság maga is történelmileg példátlan méretű és minden korábbinál áttekinthetlenebb, szövevényes, sokoldalúan integrált és komplex rendszerré fejlődött. A világ bruttó terméke 1998-ban meghaladta a 32 trillió dollárt, hatszorosa az 1950-esnek, ami viszont az 1913-as szintnek felelt meg. 1950-ben 2,52 milliárd ember élt bolygónkon⁴. A század végén több mint 6 milliárd lakos osztozik a jövedelmeken, a természeti erőforrásokon, és keresi boldogulásának útjait⁵. A kommunikációs rendszerek és a szállítás fejlődése, valamint az áru- és tőkepiacok liberalizálása és más makrogazdasági reformok nyomán minden korábbinál nagyobb mértékű a világgazda-

2 Az etnikai konfliktusok jellegét, okait és következményeit, mint ezt pl. a Balkán példája is bizonyítja, súlyos hiba lenne egysíkúan kezelni. Az antropológiai, kulturális, társadalmi és gazdasági problémák, valamint a nemzetközi hatások szerepének és kölcsönhatásainak elemzése nélkül a legtöbb esetben lehetetlen a tényleges viszonyok megértése és a problémák kezelése. Külön önálló tényezőként képvisel a konfliktusok szemben álló politikai elitjének magatartása, amelyet ritkán vizsgálunk. A nemzetközi szervezetek keretében nem fordítottak az eddigiekben kellő figyelmet az etnikai problémák és a kollektív biztonsági tényezők tényleges összefüggéseire. Az ENSZ Egyetem kutatásai arra utalnak, hogy a világon mintegy 5000 olyan etnikai csoport létezik, amelyik a világszervezet alapokmánya alapján jogot formálhat nemzeti önrendelkezésre.

3 Magas kockázatúnak tekinthető az olyan állam, amelyik a legtöbb más ország által elítélt célokat követ, amelyik re jellemző az, hogy céljai elérése érdekében hajlamos irracionális módon viselkedni, amelyik hagyományosan hajlamos belső és külső erőszak alkalmazására céljai érdekében. L.: G. Schneider – O. Weitsman: *Enforcing Cooperation. Risks States and Intergovernmental Conflicts*. New York, St. Martin Press, 1997, 4–5.

4 U. N. *Report on the World Social Situation*. 1997, Table 2. 2. New York, 1998.

5 Az emberiség közös problémái közül egyik leglényegesebb marad még egy ideig a népesedés. A 20. század a történelmileg példátlan népességgrobbanás korszakaként vonul majd be az emberiség demográfiai történetébe. A demográfiai robbanás globális méreteiben lényegében lezajlott, egyes térségekben pedig egy-két évtizeden belül befejeződik. A 21. század a stabilizálódó s egyes térségekben a csökkenő népesség évszázada lesz. A gazdasági és társadalmi fejlődés, valamint az ökológiai viszonyok kölcsönhatásai sajátos kérdéssé tették a fejlődés fenntarthatóságát. A globális gondok között különösen fontos az emberiség ivóvízellátása és az energiaszektor jövője is.

ság integráltsága is. 1998-ban a világkivitel értéke mintegy másfél trillió dollárral múlta felül az 1950-es világtermelését. A világtermék egyharmadát 1998-ban nemzetközi vállalatokban állították elő, s a világkereskedelem csaknem fele transznacionális vállalati rendszerek keretében bonyolódik. A globalizálódás realitásai és illúziói ugyanakkor elhomályosítják a tényt, hogy *soha nem voltak ilyen hatalmas különbségek és szakadékok államok között a méreteket, a jövedelem- és vagyonomegoszlást, a gazdaság, a tudomány és a technika fejlettségét illetően. 1960-ban még harmincszoros volt, ma hetvennyolcszoros a különbség a legalacsonyabb és legmagasabb jövedelmű ország között az egy főre számított GDP alapján.*

A világgazdaság meghatározó fontosságú államainak, gazdasági szempontból életképtelen mini- és mikroállamoknak, sokszáz millió embert tömörítő gazdasági törpéknek, kis területű és lakosságú gazdasági óriásoknak egyidejű létezése és érdekei teszik a térképet igen tarkává. A gazdasági hatalmi viszonyok és a világgazdasági intézmények működése terén kiemelkedő fontosságú ugyan a hetek csoportja, a 21. század világgazdaságának tényleges vezető hatalmai, legalábbis az első két évtizedben, minden valószínűség szerint ugyanazok lesznek, mint ma. Az Egyesült Államok, Japán és Németország. Ezek maradnak az első három helyen a világ bruttó termelésében kialakult arányuk alapján. A világkereskedelmi rendszer működése szemszögéből, amelyik az áruk, a szolgáltatások és a tőke nemzetközi áramlásának folyamatait hivatott szabályozni, az Egyesült Államok, az Európai Unió és bizonyos vonatkozásokban Japán szerepe marad meghatározó. A világon működő transznacionális társaságok 70%-ának ezek a bázisállamai, náluk összpontosul az összes közvetlen külföldi tőkebefektetés kétharmada, s társaságaik tulajdonában van a globális közvetlen külföldi befektetések 78%-a.⁶ E három térségből származott a világ árukivitelének 78%-a, s ide irányult a világ árubehozatalának 70%-a 1997-ben. Az USA helyzete megerősödött és többdimenziós hatalmi pozíciói alapján szerepe és politikája meghatározó a multilateralizmus jövőjének alakításában. Ez olyan veszélyeket hordoz, hogy a jelenlegi multilateralizmus a kooperatív unilateralizmus rendszerévé torzulhat, amelynek keretében 3-4 vezető hatalom vagy csoportosulás érdekei és kompromisszumai formálják a rendszert, s a többiek ehhez kénytelenek alkalmazkodni. A kooperatív unilateralizmus veszélyei már megmutatkoztak a világkereskedelmi szervezet kialakulásának folyamatában és eddigi működése során is. A kooperatív unilateralizmus különösen reménytelen helyzetbe hozhatja a világgazdaság gazdaságilag gyengébb államait. Olyan kis országok számára, mint amilyen Magyarország is, alapvetően két alternatíva adódik: a marginalizáltság a világgazdaság peremén vagy az integrálódás a világgazdaság valamelyik fő centrumához. A magyar gazdaság világgazdasági integrálódásának jellegét méretei, fejlettségi szintje, gazdaságának szerkezete, földrajzi fekvése és intézményei határozzák meg. Magyar-

6 UNCTAD World Investment Report 1998. Geneva, 1998.

ország világgazdasági integrálódásában a rendszerváltás nyomán a kézenfekvő alternatíva a csatlakozás makroszinten az Európai Unióhoz⁷, illetve a mikroszférában transznacionális vállalatok rendszeréhez történő racionális mértékű integrálódás. Ez utóbbi jelentősége gyakorlatilag meghatározóvá vált a reálgazdasági folyamatokban hazánkban.

A század végén Magyarország a világ bruttó termékéből való, 0,15%-os részesedésével a 100. helyen áll. Súlya a világ áruexportjában 1997-ben 0,4%-ot, a világ áruimportjában 0,5%-ot tett ki, s ezzel a világon a 30. helyet foglalta el. A világkereskedelmi integráltság indexe, vagyis a bruttó nemzeti termék és a kereskedelmi forgalom növekedéskülönbségből képzett index 1989-et 100-nak véve, 1997-ben 140 volt. A világgazdasági integráltság átmeneti visszaesés után ismét növekedett. A külkereskedelmi forgalom a bruttó nemzeti termék 87%-ának felelt meg.

Esélyek és egyenlőtlenségek

A világgazdaság fejlődésében az elmúlt évtizedek során egyidejűleg érvényesültek a jövedelmeket kiegyenlítő és az egyenlőtlenségeket növelő tendenciák. 1995-ös árakon számítva, egy fél évszázaddal ezelőtt 2500 dollár jutott egy átlagos Föld-lakóra, a század végén 5300 dollár. Az 1. táblázat néhány ország egy lakosra jutó nemzetijövedelem-adatait hasonlítja össze 1938-ban és 1996-ban. Az USA szintje mindkét esztendőben 100.

A jövedelemszint konvergálódására a fenti adatok tükrében a fejlett ipari országok között került sor. A többiek esetében inkább nőtt a szakadék az USA-hoz képest. Magyarország mindkét időszakban a közepesen fejlett országok felső kategóriájában helyezkedett el. 1996-ban valamivel közelebb volt a világtátlaghoz, mint 1938-ban. Relatív helyzete azonban keveset változott. A bolygónkra ma jellemző hatalmas egyenlőtlenségek a jövő konfliktusainak alapvető fontosságú forrásai lehetnek. A Föld lakosságának leggazdagabb 20%-a a javak 86%-val rendelkezik, míg a legszegényebb 20% csak

7 A csatlakozási megállapodások véglegesítése és maga a csatlakozás egyre inkább a következő évszázad első évtizedének második felére kezd csúszni. Az új program, amelyik elkötelezte az integrációs szervezetet a politikai integráció elmélyítésére és a döntéshozatal reformjára, nehezen egyeztethető össze új, kevésbé fejlett tagállamok gyors csatlakozásával. A közhangulat is egyre inkább arra irányul, hogy meg kell védeni az EU-t a kelet-európai versenytől az olcsó iparcikkekől és mezőgazdasági termékektől, s új korlátok szükségesek a bevándorlás megakadályozására. Egyre több az olyan vélemény, hogy a közpénzeknek és a tőkebefektetéseknek nem a Keletre kell irányulniuk, hanem a jelenlegi EU-tagok felé. A vita középpontjában az új tagok belépéséről az eddigiekben az volt, hogy az EU-nak milyen árat kell majd fizetnie ezek képességének javításáért ahhoz, hogy teljesítsék a tagsággal járó kötelezettségeket. Emögött azonban tulajdonképpen az áll, hogy az EU-n belüli különböző gazdasági érdekcsoportok számára mit jelentene a belépők versenye, az olcsó bérek és az új belépők versenyképességének gyors javulása. Az EU keretében a csatlakozni kívánó tagokkal kapcsolatban nemcsak a kormányok között vannak nézeteltérések, hanem az államok keretei között is különböző érdekcsoportok ütköznek. Gyakorlatilag három típusú állami magatartás alakult ki. Az egyik szerint az új tagoktól nem az uniformizálást kell követelni, hanem el kell fogadni az EU diverzifikáltságát. Ez mindeneke előtt angol, svéd, finn álláspont. A másik szerint a követelményeket minél magasabban kell megállapítani az EU-szerződés alapján, azok teljesítését követelve. Ezt különösen olyan területeken hangsúlyozzák, amelyről tudják, hogy a belépni szándékozó tagok nem tudják teljesíteni: pl. környezetvédelem, infrastruktúra. A harmadik csoport gyakorlatilag semleges.

1. táblázat

Ország	1938	1996
USA	100	100
Anglia	94	73
Kanada	69	72
Franciaország	48	100
Argentína	31	30
Olaszország	26	73
Chile	24	18
Magyarország	22	16
Mexikó	12	10
Brazília	7	17
Kína	6	2
Világátlag	32	23

Források: U. N. World Economic Survey 1945–47. 19. sz. tábla, UN. World Statistics. Pocket-book. 1998. World Bank. A World Development Report 1997. adatai alapján számítva. 1938-ra vonatkozóan nemzetijövedelem-adatok, 1996-ra vonatkozóan GDP-adatok szerepelnek.

1,3%-ával. Az államok közötti gazdasági-hatalmi hierarchiában elfoglalt helyből kitörni és előbbre kerülni évszázadunkban csak kevés ország tudott, megfelelő, a technikai és szerkezeti váltást racionálisan segítő állami politikák, helyesen megválasztott külgazdasági orientáció, integrálódás és kedvező nemzetközi politikai és világgazdasági környezet segítségével. Ezek a változások ugyanakkor jelentős mértékben hatottak a világgazdaság térszerkezetének átalakulására is. A világgazdaság szerkezetének és települési rendszerének átalakulása nyomán a népesség és a gazdasági tevékenység új, hatalmas koncentrációi alakulnak ki. Új, hatalmas felvevőpiacok jönnek létre, különösen Ázsiában és Latin-Amerikában. A világgazdaság új földrajza új kapcsolódásokat teremt az államok között s a gazdasági folyamatokban is.⁸ A globális verseny egyik fontos összetevőjeként a világgazdaság egyes új jövevényei, új országok vagy új vállalatok a múltbelinél könnyebben törhetnek be a hagyományosan védett és monopolizált piacokra. A világkereskedelem és a tőkemozgások liberalizálása minden nehézség ellenére tovább halad előre. A szuperprotekcionista szocialista államok felbomlása, a világkereskedelmi szervezet keretében vállalat liberalizálási kötelezettségek, a regionális integráció folyamatainak folytatódása mindenütt megkönnyítette a

8 M. Fujita, P. Krugman, A. Venables: *The Spatial Economy*. Megjelenés alatt.

piacokra való behatolást. Egyre kevesebb védett és biztos piaci pozíció maradhat fenn, ha ezek a folyamatok folytatódnak, a nemzeti piacokon nem védhetik többé az alacsony hatásfokú nemzeti vállalkozásokat.

A transznacionális szektor és a kisvállalatok a globális versenyben

Az államok szakosodásában és a világgazdaság térszerkezetének átalakításában jelentős szerepet játszanak a jövőben is a nemzetközi ipari és szolgáltató társaságok s a hatalmas pénzügyi konglomerátumok. Növekedésük a következő évtizedek során is tovább folytatódik, s az erőviszonyok és a szerkezet átalakulása a világvállalatok között a világgazdaság egyik meghatározó folyamata.

A század elején sok közgazdász, pl. Hobson, Hilferding és Kautski, már különös figyelmet fordítottak a nemzetköziesedő nagyvállalatok szerepére, és hangsúlyozták fontosságuk növekedését. A világpolitika a két világháború közötti szakaszban lassította ezt a folyamatot. A második világháború utáni szakasz azonban új lendületet adott és új lehetőségeket nyitott e szektornak.⁹ Hatalmas, történelmileg példátlan tőkeerejű, horizontálisan vagy vertikálisan integrált mammutvállalatok, transznacionális pénzpiaci konglomerátumok (amelyek egyidejűleg ajánlanak bank-, biztosítótársasági, értékpapír-piaci, vagyionkezelő és más lényeges szolgáltatásokat) a világgazdaság meghatározó fontosságú szereplőiként igyekeznek érdekeiknek megfelelően formálni az államok gazdaságpolitikáját s a nemzetközi piaci viszonyokat. A nemzetközi vállalatok száma 1997-ben meghaladta az 53 000-t, s érdekeltségeiké megközelítette a 450 000-t. E hatalmas nemzetközi vállalati rendszer keretében az első 500 társaság hatalma, szerepe, versenye és együttműködése a világpolitika és a világgazdaság folyamatainak alakulása szempontjából sok vonatkozásban meghatározó. *Az évszázad utolsó szakaszában új szakaszba lépett a nemzetközi verseny is. A cél nemcsak a piaci részesedés globális növelése megfelelő haszon mellett, hanem az ellenőrző befolyás növelése a piac, a termelési tényezők és különösen a kutatási és fejlesztési források felett és a megszerzett pozíciók védelme.* Az állandóan erősödő rivalizálás lényeges eszközei a gyors gyártmányújítások, a rövidebb design- és termék-életciklus, az egyre agresszívebbé váló ár-, minőség- és marketingstratégiák, a fogyasztók igényeinek növekvő befolyásolása és új módon való kielégítése. Az 1980-as évek végétől a fúziók és az akvizíciók különlegesen jelentős szerepet nyertek a versenyben. A nagy társaságok globális szerepét tovább növeli a történelmi méretekben szinte példátlan nemzeti és nemzetközi fúziók hulláma. Az 1990-es évek második felében ha-

⁹ Hobson 1902-ben megjelent, idézett művében e társaságokat az imperializmus parazitáinak nevezte, és kiemelte, hogy politikai befolyásuk is igen jelentős. Generációja legjelentősebb változásaként említette a tőke növekvő kozmopolitanizmusát, s hozzátette, hogy minden technikai újítás, minden új tulajdonkoncentráció növeli e tendencia fontosságát.

talmas fúziós hullám söpör végig a világgazdaságon, szinte minden szektorban. A világtermelés óriásaihoz hasonló nemzetközi pénzügyi konglomerátumok kialakulása folyik a fúziók nyomán a bankvilágban. Az USA-ban 1985–98 között csaknem egyharmaddal csökkent a bankok száma. Az információs technika terjedése különösen nyilvánvalóvá tette a túlbanksodás problémáját Európában. A számítógépes technika egyrészt növeli a bankok hatékonyságát, másrészt lehetőséget ad rendkívül komplex műveletekre, ami ugyancsak növeli a különböző típusú pénzintézetek, bankok, biztosítótársaságok stb. fúzióinak lehetőségeit. A következő évtized során a bankok száma Európában 25–30%-kal csökkenhet. A fúziós hullám elkerülhetetlenül eléri a közép és kelet-európai térséget is. Ezt a folyamatot késleltetheti a külföldi tulajdon, de nem lesz képes hosszú távon megakadályozni. Magyarország világgazdasági integrálódásában is igen jelentőssé vált a külföldi szektor szerepe. A világon az összes közvetlen külföldi tőkebefektetések állományának 0,04%-a volt Magyarországon elhelyezve. E tekintetben a világon a 35. helyen állt 1997-ben. A közvetlen külföldi tőkebefektetések állományának bruttó nemzeti termékben kialakult aránya 33% volt, a közepesen fejlett nyugat-európai országok átlagának több mint kétszerese és a világátlag háromszorosa. 1994–97 átlagát alapul véve az ország gazdaságában eszközölt bruttó állótőke-beruházások csaknem egyharmada volt külföldi eredetű. Ez több mint ötszöröse volt a hasonló fejlettségű országokban kialakult arányoknak.¹⁰ Ilyen méretű integráltság egyidejűleg teremtett példátlan lehetőségeket a világgazdasági folyamatokból adódó előnyök kihasználására, s növelte meg az ország gazdaságának sebezhetőségét. Ha nem készül fel jobban a magyar gazdaság, a társadalom és az intézményrendszer az előnyök jobb hasznosítására és a megnövekedett külső sebezhetőség kezelésére, a nagyfokú függőség súlyos gondok forrásává válhat.

Nem jelentéktelenek a világgazdaság transznacionális szektorának társadalmi hatásai sem, az államok és ezek keretében a társadalmi csoportok differenciálásában. Tevékenységük hatására a világ és Magyarország népessége is egyre inkább három csoportra oszlik: azokra, akik e hatalmas társaságok rendszerének részei, vagy ahhoz kapcsolódnak, azokra, akik ebből gyakorlatilag tartósan vagy végérvényesen kirekednek, s a közbelsőkre, akik előbb-utóbb vagy a „globalizál-takhoz”, vagy pedig a kirekedtekhez kapcsolódnak, illetve csapódnak. A vállalkozások közül a globalizálódás különösen nehéz kihívás a kis- és középvállalatok számára. Az OECD tagállamaiban pl. ahol az erre vonatkozó statisztikák a legteljesebbek, a gyáriparban e vállalatoknak alig 1%-a fejt ki jelentősebb nemzetközi piaci tevékenységet, mintegy 25%-uk sorolható a globálisan is versenyképesek közé. A szolgáltatások terén ennek aránya kisebb. A kis- és középvállalatok csak-

10 U. N. *Economic Surveys of Europe*, 1998. No. 1. Geneva, 1998.

nem fele csak jelentős támogatással képes a fennmaradásra a globalizálódó gazdaságban, s a fennmaradók, döntően a szolgáltatászektorban, ez ideig képesek voltak kis regionális piacokon elszigetelni magukat a veszélyektől.¹¹ Magyarországon a második csoportba tartozó vállalatok aránya lényegesen kisebb. Ahhoz, hogy a magyar kis- és középvállalatok jelentősebb szerepet játszhassanak az ország nemzetközi versenyképességének erősítésében, jelentősen meg kellene javítani a vállalkozók felkészültségét s a vállalkozások finanszírozási és műszaki fel-tételeit.

A papírgazdaság realitásai

A világgazdaság jövője szempontjából igen lényeges változás a pénztőke felhalmozásához, a pénz és tőke forgalmához kapcsolódó tevékenységek, áru-, értékpapír- és pénzpiacok igen gyors bővülése, vagyis az olyan tevékenységeké, amelyet egyesek a lengyel Kalecki nyomán papírgazdaságnak vagy Keynes szóhasználatával élve a kaszinókapitalizmus terebélyesedésének neveznek. Az 1990-es években a pénztőke felhalmozódása 70%-kal gyorsabb volt, mint az állótőke bővülése az anyagi termelésben és az ehhez kapcsolódó szolgáltatásokban. A BIS adatai szerint a pénzpiacok napi forgalma meghaladja az 1000 milliárd dollárt. A világgazdaság fejlett részében hatalmas, kedvező értékesülést kereső tőkefeleslegek alakultak ki, amelyeknek nagy hányada biztosítótársaságokban, nyugdíjalapokban összpontosul. 1998-ban a nyugdíjalapokban, biztosítótársaságokban és más, úgynevezett intézményes befektetők-nél összpontosult tőkék 21 trillió dollárt tettek ki, s ennek fele amerikai intézmények kezében, egyharmada nyugat-európaiakéban s 15%-a japán intézmények kezelésében volt. Ha ennek a hatalmas összegnek pl. csak 1%-át „irányítják át” egyik térségből a másikba, ez a latin-amerikai tőzsdék forgalmának kétharmadával egyenlő. Sajátosan alakult a tőke iránti kereslet az anyagi termelésben és a szolgáltatásokban. A „jugoszláviai” tragédiát megelőzően hosszabb ideje nem volt jelentős háború, amelyik az elpusztult termelőeszközök tömeges rekonstrukcióját igényelte volna. Lehet, hogy a „jugoszláviai” újjáépítés ezen változtatni fog, hiszen a háborús pusztítások már meghaladták a 100 milliárd dollárt, ami nagyjából egyenlő a fejlődő országokba irányuló közvetlen külföldi tőkebefektetések egyévnnyi összegével az 1990-es évek átlagában.

A technikai fejlődés nyomán a tőke termelékenységének növekedése, a fogyasztási szerkezet eltolódása a szolgáltatások felé csökkentették a fajlagos beruházási költségeket. A tőkék a magas hasznot, a gyors megtérülést biztosító pénz és értékpapírpiacok felé áramlanak, s nőtt az olyan befektetők köre is, amelyek a magas haszon mellett a nagyobb pénzpiaci kockázatot is vállalják.

11 OECD: *Industrial Performance and Competitiveness in an Era of Globalisation and Technological Change*. Paris, 1998.

Az 1980-as évek közepén a G-10 tagállamaiban 6,3 trillió dollár volt a kötvényforgalom, a bruttó nemzeti termék 70%-a. 1996-ban már 21,7 trillió dollárt tett ki, az államok bruttó nemzeti termékének 105%-át. A részvények forgalma a bruttó nemzeti termék 1985-os 116%-áról 1995-re, azok 22%-ára nőtt. A nemzetközi bankbetétek 1996-ra meghaladták a világ bruttó termékének 21%-át.¹² A papírgazdaság mechanizmusai – beleértve az eufóriákat és a pánikokat is – rendszerint hasonlóak, s alapjaikban alig különböznek attól, amelyre már a század elején is felhívták egyes közgazdászok a figyelmet.¹³ A piacok működésében azonban lényeges új elemként fogható fel a világgazdaság összefonódottsága áttekinthetlensége és bizonytalanságai. Ezek a 20. század végén sajátos globális hálózattá tették a tőzsdéket és a pánikokat is. A pániknak naponta kitett piacok rendkívül ingatagok és bizonytalanok. 2–3%-os árcsökkenések és áremelkedések még a napi forgalmon belül sem ritkák, s a hatalmas nyereségek és veszteségek többé-kevésbé elkerülhetetlenek. Az 1997–98-as pénzügyi válság kb. 4 trillió dollár veszteséget okozott a világgazdaságban, elsősorban a papírgazdaságban. A világgazdaság hosszú távú fejlődése szempontjából alapvető kérdés az, hogy mennyiben pozitív illetve negatív a papírgazdaság szerepe. Növeli-e a gazdaságok alkalmazkodóképességét, jövedelemteremtő erejét, vagy éppen ellenkezőleg, aláássa azt. A jelenlegi viszonyok extrapolálása alapján olyan következtetés vonható le, hogy a papírgazdaság rendkívül gyors és kaotikus növekedése alapján véve összeegyeztethetetlen a termelés és a foglalkoztatottság növelését és a beruházások hatékony allokációját célzó gazdaságpolitikákkal. Növeli a gazdasági és társadalmi egyenlőtlenségeket, és súlyos konfliktusok forrásává válhat. Különösen súlyos veszélyeket rejt magában a folyamat a kisebb és gyengébb nemzetgazdaságokban. A papírgazdaság terebélyesedése nemcsak a gazdaságok ingatagságát, hanem a szakadékokat is növeli az államok között. Az elmúlt évtizedek során a pénz- és tőkepiacok liberalizálása sajátos, kedvező lehetőségeket nyitott a pénztulajdonosoknak és egyes adós, illetve hitelező országoknak. Ugyanakkor a világ államainak többsége és az alacsonyabb jövedelmeket ígérő szektorok számára a külföldi erőforrásokhoz való jutás egyre nehezebbnek bizonyult. Ez a jövőben sem változik.

¹² BIS Review. 14–1999. Basel, 1999.

¹³ A papírgazdaság centrális intézménye, a tőzsde fellendülése valamilyen kedvező változással indul, pl. új piacok megnyitása, új technika, amelyik jelentős üzleti lehetőségeket ajánl. A fellendülésben szerepet játszhat a piac szemszögéből kedvező politikai átalakulás is. A fellendülés folyamata meghatározott szakaszban a hitelfelvételekre épülve folytatódik, az árak emelkednek, különösen az értékpapírára. Ez a növekedés újabb lelkesedést vált ki, esetleg sajátos eufóriát a piac résztvevői között. Gyorsan nő a tőzsdék forgalma, mindenki gyorsan akar meggazdagodni, ezért még több pénzt szivattyúznak az értékpapírpiacba, anélkül, hogy a többség értené, miről is van szó, s hogy mekkora a kockázat. Végül is megáll az áremelkedés, egyes nagy adósok úgy látják, hogy túlterjeszkedtek, s hirtelen idegesek lesznek. Az idegesség kudarcokhoz vezet, s kitör a pánik. Mindenki menekül a kockázattól a likviditás, a készpénz felé.

A papírgazdaság fejlődése és térhódítása igen gyors volt Magyarországon is. 1999 elején a kapitalizáció mintegy 15 milliárd dollár volt, ami a bruttó nemzeti termék egyharmadának felelt meg. 1994-ben még csak ennek 2-3%-ának. A volt szocialista térségben Magyarország e tekintetben a harmadik helyen áll, messze elmarad azonban a fejlettebb európai államoktól. Tény ugyanakkor az is, hogy sem a lakosság, sem pedig az intézmények nem voltak kellő mértékben felkészülve a pénzügyi szektor ilyen mértékű bővülésére és az ezzel járó problémákra sem a makro-, sem pedig a mikroszférában. A partnerek becületessége, a bankok kockázatmenedzselő képességének javulása, a felügyeletnek operatívabb és célirányosabb fellépése mellett a mindenkori kormányok politikájának áttekinthetősége, racionalitása az árfolyam és a kamat alakításában és az intervenciókban és szavahihetősége elengedhetetlen egy olyan országban, ahol a pénzügyek terén növekvő fontosságúak a mobil külföldi befektetők, s a lakosság is hajlamos a pánikra. A kelet-közép-európai országok igen jó üzletet jelentenek a pénzügyi befektetőknek. A görög államötvények hozama 3%, a németeké 5%, a kelet-közép-európai 8% feletti. Ezek azonban még kis piacok. A varsói tőzsde a budapesti utáni legnagyobb, 15 milliárd dolláros kapitalizáció. A kötvénypiac, amely a külföldiek számára is nyitott, Lengyelországban 18 milliárd USD, Magyarországon 10. A budapesti tőzsdén jegyzett részvények tulajdonosainak csaknem fele nem rezidens külföldi.¹⁴ A jövő egyik lényeges és vitatott kérdése az, hogy az Európai Monetáris Unió (EMU) s az euró bevezetése csökkenteni fogja-e vagy inkább növelni a nemzetközi pénzügyek terén a zavarokat és az ingatlanságot, s hogy milyen hatással lesz a magyar pénzügyekre. Az eddigiek még nem adnak alapot határozott válaszra.¹⁵

A technikai átalakulás és a gazdaság

Az előzőekben vázoltak szemszögéből is fontos az, hogy tovább folytatódik, új dimenziókban bontakozik ki és tovább globalizálódik a technikai fejlődés. Ez mindenekelőtt négy dimenzióban jelentkezik.

Az egyik a piaci dimenzió, ami azt jelenti, hogy a magasan fejlett technikát megtestesítő gyártmányok gyakorlatilag a világ minden részén terjednek és megvásárolhatók.

14 Pontosan 45%. MNB Havi jelentés. 1999, 2. sz.

15 Valószínű, hogy a magyarországi EU-csatlakozással összefüggő kérdések között különleges fontosságú és meg lehetően ellentmondásos lesz az EMU hatása mikro- és makrogazdasági szinten egyaránt. Magyarországra a hatások különösen négy összefüggésben lehetnek jelentősek: az eurózóna kereskedelmi következményei révén, a pénz és tőkepiaci kapcsolódások révén, beleértve a közvetlen és portfólió-befektetéseket, a pénzügyi rendszer szerkezeti átalakulásának következményeit s az adósságszolgálatot. Nyilvánvalóan befolyásolni fogja az euró az alkalmazkodási követelményeinket, s számíthatunk arra is, hogy potenciális tartalékvaluta szerepe is jelentős hatással lesz Magyarországra.

A másik a kutatási és fejlesztési (K+F) dimenzió, ami a modern tudomány fejlődésének nemzetközi összefonódottságát jelenti, s az eredmények globális elterjedésének, transzferének jelentőségére utal a világ valamennyi térségének és országának gazdasági fejlődésében. Ennek folyamatában nemcsak a kutató- és fejlesztőtevékenység, hanem az ipar, a mezőgazdaság és más ágazatok között is sajátos hierarchikus kapcsolatok alakultak ki nemzetközi méretekben. Különösen fontos ez a folyamat a csúcstechnikát megtestesítő ágazatokban, pl. a gyógyszeriparban, biotechnológiai iparban, elektronikában, távközlési iparban.

A harmadik az interaktív, összekötő dimenzió, ami a technika szerepét jelenti a globalizálódás előmozdításában a telekommunikáció, számítógépek, információáramlás stb. révén. Lehetővé teszi az adatok és folyamatok elemzését, az újításoknak, ezek bevezetésének, használatának, következményeinek figyelemmel kísérését, az együttműködést a vállalatok között.

A negyedik a versenyméret dimenzió, ami a vállalatok és az államok közötti versengés globalizálódását jelenti a technika terén. Ez gyakorlatilag minden termelő és szolgáltató ágazatban kibontakozott. A verseny sajátosságait illetően azonban különbséget kell tenni az új technikát kifejlesztő és felhasználó ágazatok között. A szolgáltatásokban pl. a verseny a gyors, hatékony és sokrétű alkalmazásra összpontosít.

A technikai fejlődés mai szakaszát sokan az információs társadalom kialakulása vagy a tudásra épülő gazdaság kifejlődése korszakaként is jellemzik. A tudás és az információk természetesen minden időkben elengedhetetlenek voltak a gazdasági fejlődéshez. A gazdasági növekedés tudás- és információigényességének jelentős növekedése azonban valóban az utóbbi évtizedek egyik döntő változása. A változás nem jelenti azt, hogy a gazdaság lemondhat a tőkéről vagy a munkaerőről, s elegendő a tudást szaporítani. A munkaerő, a tőke hasznosításának hatékonysága azonban gyorsan megtöbbszörözhető, és a verseny kimenetele nagymértékben függ az új hozzáadott érték növelésére képes ismeretek bővítésének és felhasználásának képességétől vállalati és állami szinten. Ennek feltétele a munkaerő képzettségének radikális javítása, a hasznos ismeretek gyűjtéséhez és elosztásához szükséges hálózatok kiépítése s a képesség nemzeti innovációs-termelési rendszerek kifejlesztésére és állandó fejlesztésére, valamint a globális rendszerekben való hatékony részvételre.¹⁶ Ez különösen fontos figyelemztetés Magyarország számára. Hazánkban sajnos a rendszerváltás kárvallottjai, vesztesei között előkelő helyen áll a tudásipar, a tudomány intézményeinek hálózata. A tudományos képességek leírásán olyan időszakban kerülünk lejjebb, amikor a mai globális technikai átalakulással kapcsolatos tudásigény növekedése gyakorlatilag minden gazdasági tevé-

16 L. részletesen: OECD *The Knowledge Based Economy*. Paris, 1996.

kenységet, iparágat, szolgáltatást és üzletágot érint, és egyik alapvető fontosságú meghatározó tényezője a világgazdaság szerkezeti arányai megváltozásának.¹⁷ A magas képzettséget igénylő, tehát tudásintenzív termékek aránya a Nyugat-Európába irányuló kivitelünkben viszonylag alacsony, és egyes számítások szerint csökkent is.¹⁸ A technikai fejlődés sokoldalúan befolyásolja a világgazdaság valamennyi fontos területét. Fontos tanulságként fogalmazható meg, hogy a felzárkózás nem lineáris, és nem szűkíthető a gazdasági növekedés ütemének alakulására. A fejlődés során eltérő sebességgel változik a politika, az intézményrendszer, a gazdaság és a társadalom kulturális színvonala. A felzárkózás mikro- és makroparamétereire sem azonos tényezők és erők hatnak. Az egyének szintjén a fejlődés, a felzárkózás útja a képzettség és a társadalmi hierarchiában elfoglalt hely megváltozása és az előrelépés az alacsony elemző- és alkalmazkodóképességtől a magasabb felé. Az államok szintjén a felzárkózásnak két alapvető követelményrendszere van. Az egyik az intézmények hatékonyságának javulása, ami elősegíti a hagyományos, elszigetelt rendszerek átalakulását és az államok kedvező feltételek melletti integrálódását a globalizálódó világgazdaság áramlásaiba és intézményeibe. A másik feltétel a hagyományos termelési és fogyasztási szerkezet átalakulása s a mai korra jellemző, versenyképes, fejlett technikára épülő termelés és szolgáltatások meghatározó fontosságúvá válása. Ezek a változások képezik az alapját a fejlett ipari országok közötti fejlettségi szintkülönbségek csökkenésének, képességeik konvergálódásának. Néhány kevésbé fejlett ország pedig a közép- és felsőfokú képzés fejlesztésével és ez utóbbi nemzetköziesedése révén tudott előbbre lépni. Hatékonyabban tudták hasznosítani a technikaimportot, s felhasználva a piacok nyitottságát, gyorsan törtek be bizonyos, korábban meglehetősen zárt piacszegmensekbe. Ez a folyamat éles versenyben ment és megy végbe, s igen súlyos strukturális zavarok forrásává is vált a világgazdaságban. Az ázsiai pénzügyi válságban is szerepet játszott ez a tényező, s arra figyelmeztette az érintett országokat, hogy sokkal többet kell tenniük technikai képességeik fejlesztése érdekében. Magyarország világgazdasági reintegrálódása szemszögéből is kulcsfontosságú, hogy azokban az ágazatokban erősítse helyzetét, amelyek technikai és gazdasági szempontból a legmagasabb új értéket

17 A mikroprocesszorok egyre újabb és technikai szempontból egyre nagyobb teljesítményű fajtái és variációi átépítik az egész gazdaságot. Jelentős mértékben módosítják az információk feldolgozását, tárolását, és rendkívül gyors ütemben szélesítik felhasználási lehetőségeit. A szoftvertervezők és a mikrocsipek készítői aláássák a kialakult monopolhelyzeteket, és az ezeket megtartani igyekvő vállalat-óriásokat is stratégiaváltásra kényszerítik. Hihetetlen gyorsasággal fejlődik a biotechnológia, amely a mezőgazdaságot, az élelmiszeripart, a gyógyszeripart már az eddigiekben is sok területen forradalmasította. A következő évek nagy átalakulására valószínűleg az energiatermelésben és -felhasználásban kerül majd sor. A 21. század első két évtizedében minden valószínűség szerint új energiaforradalom kibontakozására lehet számítani. Ez magában foglalja az új, s olcsó és kevésbé szennyező energiaforrások megjelenését s a hagyományos energiahordozók lényegesen hatékonyabb felhasználását.

18 U. N. *Economic Commission for Europe Economic Survey of Europe*, 1998. Vol. 3. Table 3. 2. 10, Geneva, 1999.

termelik, s hosszabb távon is perspektívát jelentenek. Ugyanakkor biztosítani tudja a fejlődéshez szükséges tőke- és technikaimportot, illetve e tényezők hatékonyabb hasznosítását is.

A technikai fejlődés elsősorban a foglalkoztatás alakulása révén hat minden korábbinál intenzívebben és közvetlenebb módon Földünk lakosságára. Valószínűleg reális az a becslés, miszerint a jelenleg ismert technikai vívmányok alkalmazásával a munkaerő egyharmada elegendő lenne a bruttó nemzeti termék megtermelésére. A technikai átalakulás és a foglalkoztatás kapcsolata sok dimenzióban jelenik meg a következő évtizedek világgazdaságában. A régebbi szakmák gyors elavulása és újak megjelenése, a gazdaság tudás, és információigényeihez kapcsolódó új szakmák és képességek fontossága, a munkaszervezés átalakulása, az új módon szervezett, az emberi képességek megsokszorozását célzó csoportmunka térhódítása, a részfoglalkoztatás terjedése eleve jelentős változások forrásai. Számottevően megváltozik azonban a gazdasági fejlődés munkaerőigénye is. A technikai átalakulás is szerepet játszik abban, hogy a 21. század első évtizedeinek egyik legmakacsabb, hosszú távú problémája marad a munkanélküliség. A Nemzetközi Munkaügyi Szervezet becslései szerint a világon csaknem egymilliárd ember, vagyis a munkaerő közel egyharmada teljesen vagy részlegesen munkanélküli. Az Európai Unió tagállamaiban a munkanélküliség 10% körül stabilizálódott. Az USA-ban pl. ha a munkaképes börtönlakókat is hozzáadnák, a munkanélküliség nem 4,6% hanem 7% körül lenne, s magas a részfoglalkoztatottak aránya is. Jelentős tényező az is, hogy a nagy foglalkoztató ágazatok súlya csökken, a mezőgazdaságé 5% alá, az iparé 30% alá. Az amerikai gyáripárban ma már csak a foglalkoztatottak 25%-a dolgozik, de a bruttó nemzeti termék 50%-át állítja elő, volumenében 3,5-szer annyit, mint 1960-ban. A szolgáltató ágazatok, amelyek korábban képesek voltak a felszabaduló munkaerő egy részének felszívására, a számítógépesítés nyomán maguk is sokkal kevesebb alkalmazottat igényelnek. Az önálló vállalkozók aránya globális méretekben 15% körül stabilizálódott, s ez a réteg sem bővül. Sem a munkahelyteremtő, sem a kisvállalkozást támogató, sem pedig a minimáljövedelem-biztosító stratégiák nem vezettek eddig érdemi javuláshoz. A „foglalkozásbarát” állami gazdaságpolitikák csak néhány országban bizonyultak sikeresnek, s fenntarthatóságuk nagymértékben az alkalmazkodóképesség függvénye marad. A statisztikai adatok arra utalnak, hogy a magyar munkanélküliség szintje hasonlóvá vált az Európai Unió átlagához. A gazdasági növekedés gyorsulása ellenére a munkanélküliség alig csökkent, s alig változott összetétele. Lényegében azonos maradt a szellemi és fizikai dolgozók aránya.¹⁹

19 1992-ben, amikor a munkanélküliség aránya 12,3%-os volt, a szellemi dolgozók aránya 16%-ot tett ki, a szakmunkásoké 34, a betanítottaké 24 és a segéd munkásoké 25% volt a munkanélküliek között. 1998 decemberében 9,1%-os regisztrált munkanélküliség mellett a szellemiek aránya 16%, a segéd munkásoké 22, a betanítottaké 26 és a szakmunkásoké 36% volt. Magyar Nemzeti Bank. Havi jelentés. 1999, 2. sz.

Gyorsítható-e a világgazdaság növekedése?

A világtermelés évi átlagos növekedése az 1960-as években meghaladta az 5,5%-ot, az 1970-es években 4,4%, a '80-as években 3,4% volt, s a '90-es évekre az előrejelzés 3%. Ez azonban aligha realizálódik. Az egy lakosra számított termelés az 1960-as években 3,2% volt, az 1990-es években előreláthatólag 1,2% lesz.

Az egy lakosra számított világtermelés növelése érdekében, ami Földünk nagy térségeiben alapvető feltétele a szegénység enyhítésének, a munkanélküliség csökkentésének, a környezeti feltételeket és az élet minőségét javító infrastrukturális és termelő beruházások növelésének és a nagy egyenlőtlenségek csökkentésének, gyorsabb és regionálisan is kiegyensúlyozottabb gazdasági növekedésre lenne szükség bolygónkon, mint amekkora a század utolsó negyedét jellemezte. Jelentős véleménykülönbségek vannak azonban arról, hogy ezt miképpen kellene és lehetne elérni, s abban is, hogy milyen ütemű növekedés tekinthető hosszabb időszakon keresztül fenntarthatónak. A 20. század hagyományos növekedést ösztönző eszközei közül kevésnek van lehetősége és esélye. A világgazdaság legnagyobb volumenű keresleti tényezője a lakossági fogyasztás. Ez adja a kereslet kétharmadát. Alapja a jövedelmek alakulása, illetve növekedése. Az erre ható tényezők várható alakulásának előrejelzése nem ad alapot optimista feltételezésekre egyetlen országcsoportban sem. A technikai átalakulás is jelentős szerepet játszik a fogyasztás növekedésében, szerkezetének és a fogyasztói magatartásoknak módosulásában. A lakossági fogyasztás csaknem felét kitevő szolgáltatások növekedés-ösztönző hatása nem nagy. Az új vagy módosuló cikkek aránya a vezető ipari országokban évenként a fogyasztási cikkek 2-3%-át teszi ki. Ezekben az országokban elsősorban a fogyasztói magatartások változnak. A fogyasztók, különösen a fejlett államokban, sokkal nagyobb mértékben figyelnek oda az általuk vásárolt áruk és szolgáltatások minőségére, használhatóságára. Pénzükért jobb minőséget, kedvezőbb használhatósági paramétereket akarnak, s elvárják, hogy lényegesen szélesebb választék álljon rendelkezésükre. A világ sok évtized óta bevezetett hagyományos márkái sem tudják elkerülni az alacsonyabb ár, az azonos vagy jobb minőség és a fogyasztók igényeihez jobban igazodó versengő termékek vagy szolgáltatások hatását. Az elosztási-értékesítési rendszerek, a kiskereskedelem forradalmasodása módosítja a kapcsolatokat a fogyasztókkal, s egyre újabb értékesítési és szolgáltatási formákat alakít ki. Új verseny bontakozik ki a hatalmas bevásárlóközpontok és az elektronikus kereskedelem között, amelynek terjedése példátlanul gyors, és az élelmiszerektől az értékpapíroig szinte minden árura kiterjed.

A belső felhasználás másik jelentős tétele a közületi fogyasztás. E tekintetben sem várhatók jelentős változások. A fegyverkezési kiadások növeléséhez hiányoznak a nagy konfliktusok. Számos, korábban állami befektetésekkel létrehozott közüzem került magánkézbe, s a befektetéseket e szektorokban növekvő mértékben a piac határozza meg.

A technikai fejlődés piacbővítő hatásai új termékek vagy termelési eljárások bevezetése révén nem elég intenzívek ahhoz, hogy jelentős és tartós gazdasági növekedést eredményezzenek. A liberalizált és interdependens világgazdaságban ugyanakkor nem tarthatók többé a növekedés „szigetei” sem. Aligha lehet arra számítani a következő évtizedben, hogy a világgazdaság növekedése számottevően gyorsuljon. Ehhez jelentős és összehangolt politikaváltásra és a mai-nál szorosabb együttműködésre lenne szükség. A realitások mások. Hazánkban is lényeges kérdéssé vált a gazdasági növekedés üteme, illetve ennek gyorsíthatósága. Ez azért is fontos, mert még 1998-ban sem értük el a bruttó nemzeti termék 1989-es szintjét.

A 2. táblázat 1989-es bázison számítva hasonlítja össze a bruttó nemzeti termék növekedését.

Az adatok egyrészt arra utalnak, hogy Magyarország és a közép- és kelet-európai országok már az 1980-as években is a világgazdasági átlag alatti növekedést érték el. Másrészt 1989 után a bruttó nemzeti termék csökkenése nyomán a leszakadás még markánsabbá vált. Magyarország gazdasági növekedésének gyorsítása nagymértékben függ a külső piacoktól. Az európai csatlósítás e tekintetben nem a legszerencsésebb. Vállalatainknak sokkal intenzívebben kellene keresni a lehetőségeket a világgazdaság távolabbi, Európánál gyorsabban növekvő térségeiben is.

2. táblázat

A bruttó nemzeti termék növekedése (%)

Idő	Magyarország	Kelet-Európa	Világ
1980	86,3	89,4	72,1
1989	100,0	100,0	100,0
1990	96,5	92,5	103,5
1991	85,0	82,3	103,8
1992	82,4	78,2	105,5
1993	81,9	77,7	106,9
1994	84,3	81,0	110,0
1995	85,5	85,7	112,8
1996	86,6	89,3	116,4
1997	90,1	91,8	120,2
1998	94,9	95,0	122,6

Forrás: United Nations. Division of Economic Analysis. 1999. United Nations Economic Commission for Europe. 1999.

A „válságágazatok” lassú leépülése a fejlett országokban s az új államok és vállalatok bekapcsolódása a világpiaci versenybe sajátos szerkezeti válság kialakulásához vezetett már az eddigiekben is. A túltermelés egyik jelentős területe a világ-gazdaság agrárszektora, amelyben a szubvenciók és a verseny ösztönzik a túltermelést. Az éles piaci verseny, amelyben a külpiacokra való behatolás fontossága a meghatározó, világméreteken jelentős túltermeléshez vezetett számos cikkből, mindenekelőtt ruházati és textilárukból, fogyasztói elektronikus cikkekből és a nyersanyagok többségéből. Ez alól az arany sem kivétel. Afrikában sokkal több aranyat és gyémántot termelnek, mint amennyit a nemzetközi ékszerpiac vagy az államok tartalékai igényelnek a mai árszinten. Nagyok a kihasználatlan kapacitások a nemzetközi acél-, autó- és félvezetőiparban is. E kapacitások nagy része Ázsiában alakult ki. A hatalmas eladatlan készletek tovább nyomják le az árakat, s nemcsak a világ drágábban termelő országait hozzák nehéz helyzetbe, hanem az ázsiai exportőröket is. Jelentős túlkapacitások alakultak ki a polgári repülőgépgyártásban is. A Boeing Társaság 2000-ig 25%-kal kívánja a termelést csökkenteni, s mintegy 20 000 embert bocsátanak el. Nem csökkenti a túltermelést az Airbus Társaság sem, amely a túlkínálat ellenére folytatja fejlesztési programját, az európai megrendelőkre számítva. A fejlett ipari országokban az éles verseny sajátos helyzetet alakított ki egyes szolgáltatások piacán is. Az USA-ban pl. jelenleg már több mint 100 olyan város van, ahol a mobiltelefon-piacokért több mint 6 szolgáltató verseng. Ez a tendencia gyorsan terjed a világ más térségeiben is. A túltelefonosítás veszélye másutt is nő. A kihasználatlan szállítókapacitásokra jellemző üres konténerek forgalma megkétszereződött egy év alatt. A túltermelés veszélye és ténye nem ciklikus gond többé, hanem egy sajátos globális strukturális válság következménye.

Az államok előtt a realgazdaságban két alternatíva áll a túltermelési problémák és a szerkezeti válságok megoldására: az egyik a hagyományos alkotó rombolás, tehát a kevésbé hatékony többletkapacitások leépítése a piaci mechanizmusok segítségével, tömeges elbocsátásokkal, növekvő munkanélküliséggel s ennek minden egyéb szociális és politikai következményével. A másik a gazdasági növekedés, a fogyasztás ösztönzése s ily módon a globális együttműködés erősítésével végrehajtandó szerkezeti váltás a magasabb hatékonyság irányában. Figyelemre méltó és pozitív tény, hogy a nehézségek ellenére a gazdaságpolitikák még nem fordultak az elzárkózás, a protekcionizmus felé. Sem a világkereskedelem, sem pedig a világtermelés lassulása nem vezetett még protekcionista változásokhoz, kereskedelmi korlátozó intézkedésekhez vagy tömeges dömpinghez. Bizonyos szektorokban ugyan a vámok az átlagosnál magasabbak maradtak a fejlődő és fejlett országokban. Ezek: az acél, textil és ruházat, cipő, bőrárak, szállítóeszközök és különösen az autók. Az ún. vámosítás, tehát a szubvenciók vámokkal való helyettesítése, az agrárszektorban vezetett esetenként igen magas vámkhoz. Egyik alapvető kérdés, hogy a világ-gazdaság szereplői képesek lesznek-e a jelenleg működő nemzetközi szervezeteket alkalmassá tenni a problémák keze-

lésére. Úgy tűnik, hogy a multilaterális világgazdasági együttműködés intézményei, amelyek az elmúlt évtizedekben alakítottak ki a nemzetközi együttműködés közös kezelésére, sajátos válság állapotába kerültek. Egyetlen államnak sem érdeke azonban a világgazdasági rendszer összeomlása, a káosz növekedése. Az államok ezért is folytatták a multilaterális keretek között vállalat kötelezettségeik teljesítését a liberalizálás és a korlátok leépítése terén. Tény ugyanakkor az is, hogy a világgazdaság néhány lényeges hosszú távú problémájának megoldatlansága nehezíti globális hatású növekedésbarát gazdaságpolitikák kialakítását, amelyek a helyzet gyors javulását segíthetnék. Sok ország a regionális keretek között keresi a megoldásokat. 1998 végén több mint 100 regionális együttműködési szerződés volt érvényben. Afrikában a frankofón országok terveznek új gazdasági és monetáris uniót, új szabadkereskedelmi övezet van kialakulóban Dél-Afrika országai között. Kelet-Afrikában folytatódik a gazdasági és monetáris unió előkészítése. Az amerikai kontinensen 35 ország írt alá egy új egyezményt arról, hogy 2005-ig szabadkereskedelmi övezetet hoznak létre. Az ASEAN folytatja a liberalizálást, s tárgyalások kezdődtek a közép-ázsiai államokkal való szabadkereskedelmi zóna kialakításáról. Európában folyik az EU mélyítéséről és bővítéséről a tárgyalás, és a mediterrán országok szabadkereskedelmi övezetével kapcsolatos új szerződések is előkészület alatt állnak. A regionalizmus terjedése egyben új kihívás és veszélyforrás is, hiszen magában hordozza a világgazdaság szétesésének lehetőségét egymással versengő tömbökre. A regionalizmus terjedése azonban csak akkor segítheti a kisebb és gyengébb államokat, ha képesnek bizonyulnak saját területükön is versenyképes tevékenységek kialakítására és fenntartására. Ehhez nem elegendők a makrogazdasági intézmények.

A világgazdaság jövője és a világrend

A világgazdaság zavarainak növekedése, a szocialista rendszerek összeomlása és az új millenium közeledte ösztönzi a jövőről való gondolkodást, nemcsak a gazdaság vagy a politika, hanem a társadalmi berendezkedések szintjén is. A század végén újra előtérbe került a vita a világrend jövőjéről.²⁰ Sem a közvélemény, sem pedig a politikai elit nem fogta még fel teljes egészében a változások mélységét és jelentőségét. Nemzetközi méretekben is kiszámíthatatlanok a globális katonai hatalmi egyensúly fegyelmező ereje és a tömbfegyelem megszűnésének, valamint a nemzetközi versengés intenzívebbé válásának következményei. Abból sem von-

20 A világrend egy adott időszakban azoknak a nemzetközileg jellemző és érvényesíthető normáknak és szabályoknak az összessége az államok közötti viszonyok rendezésére, amelyek globális méretekben érvényesíthetők, kikényszeríthetők. Ilyen normák és szabályok feltételeznek bizonyos közös érdekeket az államok között. Kidolgozásukhoz, közös megfogalmazásukhoz, ratifikálásukhoz valamilyen, megfelelő hatalommal felruházott nemzetközi szervezeti forma szükséges. Nemzetközi szervezeti rendszer feladatává tehetik létrehozói normák

tuk még le a következtetéseket, hogy magyar gazdaság a nemzetközi piaci rendszer része lett, amelyet nem jóindulatú, láthatatlan kezek, hanem a gazdasági hatalmi viszonyok irányítanak. A nyitott, a nemzetközi gazdasági kapcsolatoktól és az ország gazdaságában működő külföldi szektortól való függőség növekedése nyomán nemcsak a hibás döntésekért, tévedésekért, a politikai vagy a gazdasági zűrzavarért kell sokkal magasabb árat fizetni, mint korábban, hanem a gyors és rugalmas alkalmazkodás elmaradásáért vagy késéséért is. Erőfeszítéseinket nagyobb mértékben kell az ezzel összefüggő nemzeti feladatokra összpontosítani. Azok a nemzetközi szervezetek, amelyeket a világ vezető hatalmai bíztak meg az 1990-es évek elején a rendszerváltás segítségével és bizonyos változások kikényszerítésével, jobban értik, illetve érzékelik ugyan, hogy az általuk megfogalmazott receptek, illetve feltételek között sok olyan is volt, amely nemcsak hogy nem volt hatékony, hanem új, nehezen megoldható problémák forrásaivá váltak, ezért valószínű az, hogy nem ismétlik meg korábbi tévedéseiket. Ugyanakkor azonban az a támogatás és megértés, ami az évtized elejére sok külső partnert ösztönzött a nyugati világban a volt szocialista országok támogatására, lassan elhalványul, az átmenet időszaka lezárul, s az egyes volt szocialista országokat mint partnereket közvetlen politikai és gazdasági érdekeik alapján ítélik majd meg. A sikeresebb országok mindenképp fontosabbak lesznek az Európai Unió számára is, mint azok, amelyeket a politikai bizonytalanság és a gazdasági zűrzavar jellemez.

A kapitalizmus jövőjének problémáját a rendszerváltást követően elsőnek 1991-ben II. János Pál pápa vetette fel a *Centesimus Annus* című enciklikájában. A pápai enciklika azt emelte ki, hogy a kommunizmus összeomlott ugyan, de a világ egyetlen olyan problémája sem oldódott meg, amely a kommunizmus megjelenésében szerepet játszott. Felhívta a figyelmet annak súlyos veszélyeire, ha a legrosszabb kereskedelmi kapitalizmus értékrendje válik a jövő cselekvés fő ösztönzőjévé. Igen érdekes gondolatokkal gazdagították a vitát egyes tudósok. Barber amerikai tudós *Jihad versus McWorld* című könyvében a globalizáció teremtette társadalmi konfliktusokat vizsgálja. E sorok írója az USA-ban megjelent, *A világ kormányzásának jövője* című munkájában a nemzetközi szervezetek gyengeségeit az új problémák és tennivalók fényében világítja meg, és reformjukat sürgeti. Az amerikai Huntington a civilizációk összeecsapását vetíti előre. Sajátos gondolatrendszert képvisel a legújabb megnyilatkozások között George Soros

megfogalmazását, betartásuk figyelemmel kísérését és a megsértőikkel szemben a fellépést, valamint a megsértőkkel szemben szankciók érvényesítését. A világrend intézményesítésével kapcsolatban a politikai életben és a tudományban négy lehetséges forma fogalmazódott meg: az egyezményes rend, amely az államok közötti nemzetközi megállapodásokra, közösen kialakított normákra és szabályokra épül, a szupranacionális intézményekre épülő rendszer, a világállam koncepciója és a hegemon hatalom vagy hatalmi koalíció által kikényszerített rend. A nemzetközi normák és szabályok érvényesíthetősége legalábbis minimális egyetértést tételez fel az államok között. Ha ezeket rá kell kényszeríteni a világon bizonyos államokra vagy államcsoportokra, elfogadtatásuk a rákényszerítők hatalmi pozíciójától, kikényszerítő képességétől függ. E tanulmány keretében a világrend jövőjével kapcsolatos viták egyik alfejezetét emelem ki, azt, amelyik a társadalmi rendszer jövőjével foglalkozik.

A *globális kapitalizmus válsága* című, a közelmúltban megjelent könyve, amely az életrajz, a politikai filozófia és a gazdasági elemzés érdekes vegyülete. Soros a piaci fundamentalizmust kegyetlen, megfékezhetetlen ragadozóként jellemzi. A szabadpiacok szabályokat követelnek, s nem korlátlanyságot. A válságot azzal magyarázza, hogy eltávolodtak a szabadpiaci elvektől, vagyis rövid lejáratú kölcsönökkel igyekeztek hosszú távú gazdaságpolitikai hibákat ellensúlyozni, kivédeni. A jelenlegi pénzügyi rendszerre a megvadult instabilitás a jellemző, s rövid távon nagy a dezintegrálódás veszélye. Soros a jövőt illetően lényegében optimista, mert szerinte a kapitalizmus rendkívül alkalmazkodóképesnek bizonyult, s alkalmazkodási mechanizmus ma újabb váltást diktál, új társadalmi szerződést követel. A közös a rendszer jövőjét kereső irodalomban mindenekelőtt az, hogy a szerzők súlyos gondokra és veszélyekre hívják fel a figyelmet, s az útkeresést igyekeznek segíteni. Egyébként általában eltérő ideológiai és politikai irányzatokat képviselnek. Ironikus módon a jobboldali populisták szakemberek közül többen haladnak társadalomkritikájukkal Marx nyomdokain, mint a szocialisták. Az irányzatok között a hagyományos liberális internacionalizmus képviseli leghatározottabban a globalizálódás eszméit. A katolikus kommunitarizmus a pápai enciklikákra építve bírálja a rendszert s ostromozza a globalizálódást. A szociáldemokrácia egy humanizált piacgazdasági rend megteremtésének eszméit hirdeti. A civilizációk összecsapásában a legharcosabb álláspontot pillanatnyilag az iszlám foglalja el. Egyetlen irányzat sem képvisel vagy ajánl radikálisan új gondolatokat. Ez talán nem is lehetséges a mai világban, amikor a hidegháborút követő új gazdasági és politikai-hatalmi viszonyok formálódása, az új technikai korszak globális kibontakozása, az államok gondjainak szaporodása s olyan közös feladatok, mint az új ökológiai egyensúly kialakítása vagy a munkalehetőségek biztosítása, új történelmi kihívást jelentenek, új lehetőségek és feladatok tömegét állítják az emberiség elé.

A világgazdasági és politikai változások alapján kirajzolódó tendenciák a dinamikus változások folytatódására, a kockázati és bizonytalansági tényezők növekedésére utalnak. A kialakuló új politikai és gazdasági realitások radikális változásokat hoznak az államközi kapcsolatokban is. A rendezőerők között vannak pozitívak, amelyek a prosperitás és a jólét növekedését eredményezhetik, és vannak olyanok, amelyek a gondok, a feszültségek növekedését. Az többé-kevésbé egyértelműen megfogalmazható, hogy a folyamatok nyomon követése, a hatások megértése a hatalmas tömegű információ ellenére is egyre nehezebb, s hatékony menedzselésükhöz sincs az államoknak megfelelő kapacitása. A tudomány világa, amelynek egyik alapvető feladata lenne az iránytű szerepének betöltése, maga is nehéz időket él át, s nyilvánvaló, hogy új szemléletre, módszerekre és szorosabb együttműködésre lenne szükség a kutatómunkában is a mai viszonyok jobb megértéséhez, kritikus elemzéséhez és használható alternatívák megfogalmazásához.

A globalizáció és politikai hatásai

A globalizáció széles körű és többretegű társadalmi folyamat, amely az utóbbi két évtizedben mindjobban az elméleti viták középpontjába kerül. Ha a hatvanas-hetvenes évek divatfogalma a modernizáció, a nyolcvanasoké a poszt-modern volt, úgy a millenniumba forduló évtized kulcsfogalma bízvást a globalizáció lett. A kérdéskörrel foglalkozó publikációk száma e rövid idő alatt öt számjegyűvé duzzadt (Waters, 1995). A fogalom igen összetett jelenségeknek ad közös nevet – lényegében rendszerváltozások egész sorának folyamatát jelöli, amelyek gazdasági, politikai és kulturális dimenziója egyaránt hangsúlyos (Beck, 1997). Ha abból indulunk ki, hogy a globalizáció lényege az emberiség egyesülése, a földrajzi határok fokozódó átlépése, akkor persze a történelem hajnala óta létező tendenciáról van szó, amely sok kerülőúton és megtorpanáson, ellentmondások és konfliktusok sorozatán keresztül tört magának utat. Azonban a globalizáción a 15–16. század óta zajló modernizációs folyamatot is érthetjük, amely a nagy földrajzi felfedezésekkel, a kolonializációval, a világherkeselelem és világhpiac kialakulásával kezdődött, és azzal párhuzamosan haladt előre, ahogy a kapitalizmus mint világhrendszer létrejött és elterjedt. Részt képezi a világhörténelem és világhgazdaságh kialakulása, ellenhatásként a nemzetállamok megszületésével és a nemzetközi rendszer fokozatos kifejlődésével. Összekapcsolódik a tudományos-technikai forradalommal, a modern oktatási rendszerek kiépülésével, a tömegkultúra és az érintkezés hatékony módjainak terjedésével.

A globalizálódás e tágabb jelenségét Marx írta le először emfátihs hangsúllyal s minden ellentmondásával egyetemben, bár kritikailag elemezte, mégis bizonyos lelkesedéssel üdvözölte ezt a folyamatot. Ez a morális kétarcúságh magának a globalizációs folyamatnak az ellentmondásaiból ered. Marx bírálta a kizsákmányolást, a tradicionális termelési módok felbomlasztását a kapitalizmus terjedése által mégis alapvetően civilizációs haladásként fogadta el. Ezáltal a fejletlen világ részeit bevonták a világhgazdaságh és világhörténelem összefüggésébe, és megszüntették korábbi zártságukat és stagnálásukat, elindítva a dinamikus változások sorozatát. A harmadik világ későbbi ideológusai viszolygással is fogadták és gyakran az imperialista teóriák közé sorolták Marx felfogását, amelyet a nyugatosodással (veszternizációval) azonosított modernizáció példájának tekintettek. A globalizáció mai teoretikusai nem is mulasztják el, hogy rámutassanak arra az ironiára, hogy

éppen az államszocialista rezsimek bukása után támad fel újra diadalmasan az eredeti marxi felfogás, éspedig többé nem az ó- és újbaloldali orgánumokban, hanem a szolid polgári, mainstream tudományos körökben és gazdasági magazinokban. U. Beck az általa szerkesztett, a globalizációról szóló tanulmánykötet bevezetésében egyenesen azt állítja, hogy a globalizációs irodalom java olyan benyomást tesz, mintha a *A tőke* IV. kötetét írnák folytatásos cikksorozatban. Mindenesetre tény az, hogy a kettős lelkület a globalizáció átkával és áldásaival szemben azóta is tapasztalható.

Max Weber közismerten az előrehaladó racionalizáció elméletében ragadta meg ezeket az összefüggéseket, és a későbbi átfogó teóriák, az imperializmus-elméletektől egészen a modernizációs teóriáig, a konvergencia- és világrendszer-elméletekig, ugyanerről a történelmi folyamatról szólnak, az eltérő filozófiai és politikai nézőpontoknak megfelelő fénytörésben. A globalizáció azonban mai értelemben mégis valami mást, határozottabb dolgot is jelent. A globalizációs irodalom többsége éppenséggel az újszerűségét emeli ki, nem a régi trend erőteljes kibontakozását. Hangsúlyozzák, hogy a globalizációs tendenciák főleg a második világháború utáni időszakban gyorsultak fel; de még ennél is jelentősebb ugrás tapasztalható az utóbbi két évtizedben, a mikroelektronikai forradalom nyomán, a neoliberális dereguláció időszakában és a hidegháború végének köszönhetően, amely új teret nyitott a transznacionális vállalatok terjeszkedésének. A globalizációs folyamat tehát kiterjedtebbé és egyszersmind intenzívebbé vált, minőségileg új fokra emelkedve.

A globalizációt M. Waters átfogó értelemben olyan társadalmi folyamatként definiálta, amelyben a társadalmi és kulturális rendszerek geográfiai korlátai háttérbe szorulnak, és az emberek tudatában is vannak e folyamatnak (Waters, 3). Ez a *deterritorializálódás* valóban kulcseleme a globalizációnak, de azért fel kell bontani a folyamatot különböző elemeire. A globalizáció legfontosabb területeiként az egész folyamat felgyorsulását indukáló technológiai változásokat, az általa is lehetővé tett gazdasági globalizációt, ennek politikai hatását kell megemlíteni. Vegyük sorra egyenként a globalizációnak ezeket az aspektusait, hogy azután az általuk kiváltott politikai hatásokat közelebbről is elemezhesük!

Technológiai változások

Ami a technológiai változásokat illeti, ezek centrumában a mikroelektronikai (vagy informatikai) forradalom áll. A század végére ennek révén olyan új minőségű kommunikációs rendszer jött létre a műholdak, a mobiltelefon-hálózatok és mikroelektronikai eszközök felhasználásával, amely azonnali és globális méretű kommunikációt tesz lehetővé. Az új technológiák költségei, a mindenkori élenjáró csúcstechnológiát leszámítva, évről évre drasztikusan csökkentek, és vívmá-

nyai ezáltal általánosan hozzáférhetővé váltak a fejlett ipari (posztipari) országok polgárai számára. Az információ- és adatátviteli kapacitások növekedésének közvetlen gazdasági hatásai közismertek. A transznacionális vállalatok éppúgy, mint a nemzetközi pénzügyi piacok szereplői, szinte valós idejű tranzakciókat hajthatnak végre, ezáltal rendkívüli mértékben kiterjesztve hatókörüket. Az informatikai rendszerek által irányított, automatizált termelés lehetőséget teremt a megtermelt áruk diverzifikálására fizetőképesség, hely és kulturális igények szerint; a tömegtermelés fordí társadalmi modelljét ezáltal egészen új, bár még kiforratlan modell váltja fel. Ennek struktúrája még jórészt kialakulatlan, egy azonban bizonyos: a munkavállalók alkupozíciói jelentősen romlanak benne; miközben vásárlókként körüludvarolják őket a globális marketingstratégiák kieszelői, a fejük felett Damoklész-kardként ott lebeg a strukturális munkanélküliség és ezzel a jövedelemnélküliség állandó fenyegetése.

Az informatikai forradalomnak azonban szinte azonnali kulturális hatásai is vannak, amelyek kibontakozása ugyan időben elhúzódik, mégis már most egy globalizált, kozmopolita világkultúra létrejöttét vetíti előre. Erre a problémára a politikai és kulturális identitások megrendülése kapcsán később még visszatérek, most csak azt a hatását szeretném hangsúlyozni, hogy az általa lehetővé tett kommunikációs és közlekedési lehetőségek összesűrítik (komprimálják) a tér és az idő dimenzióit. Ezzel a globalizáció legszembeötlőbb jelensége előtt állunk. A tér és az idő zsugorodása ugyan csak imaginárius, de ennek szubjektív érzékelése is új társadalmi minőséget jelent. Elsősorban az intenzívebb érintkezés és gyorsabb közlekedés, az élet gyorsabb tempója kelti a világfaluvá zsugorodó Föld képzetét, ez mégis fontos fenomenológiai eleme a globalitás tudatának.

Az információs rendszerek hálózattokká való összekapcsolása egy információs szupersztráda stratégiai projektjének keretében rendkívül fontos változásokat vetít előre. Nemcsak lerövidíti a tranzakciók idejét, egymástól távoli partnereket kapcsolva össze, hanem hosszú távon meg is alapozza azoknak az országcsoportoknak a gazdasági és politikai hegemoniáját, amelyek részt vesznek ebben a folyamatban. Ezt a világ legnagyobb hatalmai és mindazok az országok, amelyek a gazdasági hegemoniáért versenybe szálltak – Japántól Malajziáig – nagyon pontosan érzékelik. Mint az Egyesült Államok alelnöke, Al Gore kifejtette: „Ezek a szupersztrádák – vagy pontosabban az osztott intelligencia hálózatai – lehetővé teszik számunkra az információmegosztást, az összekapcsolódást és azt, hogy egyetlen globális közösségként kommunikáljunk egymással. Ezekből a kapcsolatokból robusztus és fenntartható gazdasági haladás származik, továbbá erős demokráciák, jobb megoldások a globális és helyi környezet kihívásaira, jobb egészségügyi ellátás és végül – a közös planétánk fölötti közös gondoskodás fejlettebb érzéke.” (Idézi: Bretherton, 4.)

Az új információs technológiák ugyanakkor jól mutatják a globalizáció inherensen ellentmondásos természetét is: miközben hatókörükben eleve globálisak, összekapcsolják a kultúrákat, felerősítik az embercsoportok határon túli kommunikációját, egyszersmind arra is felhasználhatók, hogy a kulturális és politikai különállás kifejezőeszközei legyenek. Miután a nemzeti kormányzatok egyre kevésbé képesek ellenőrzésük alatt tartani polgáraik országon belüli és a határon átnyúló kommunikációját, az lehetőséget nyújt a politikai és kulturális önkifejeződésre is, azaz új csoportidentitások kialakulására, egészen a regionális, etnikai autonómiák követeléséig, új szeparatizmusok megalapozásáig.

A fejletlenebb régiók számára, amelyek nem rendelkeznek kellő tőkével az új technológiát megalapozó kutatáshoz és fejlesztéshez, az új technológia áldásai nehezebben lesznek elérhetők, ami azt jelenti, hogy ezek új egyenlőtlenségek és kiszolgáltatottságok forrásai is. Ezáltal tovább nő a technológiai szakadék a fejlett Észak és az elmaradott Dél között. Az új technológia megnöveli a tudomány technikai alkalmazásának lehetőségeit – például a környezeti veszélyek ellenőrzését és előrejelzését, a géntechnológia bevezetését az élelmezési problémák megoldására stb. –, de új veszélyeket és kockázatokat is teremt. Emellett radikálisan átalakítja a hadviselés természetét is. Erre az Öböl-háború és a koszovói háború szolgáltatja a legjobb példát. A hagyományos fegyverzetek elértéktelenednek az informatikai hadviselés újonnan kifejlődő, hatalmas potenciálja mellett.

Ezek a változások nyilvánvaló szemléletváltozást eredményeztek a technikai és politikai fejlődés értékelésében. Míg a modernizáció folyamatát kezdetben a haladás optimista filozófiája kísérte, századunk végére a jövőbe vetett töretlen optimizmust elhomályosítják a felgyorsult és minőségileg új fokra emelkedő globalizáció ellentmondásos hatásai. A pozitív technikai és politikai utópiáknak egyaránt bealkonyult. A tudomány technológiai alkalmazásának örvendetes lehetőségei és félelmetes kockázatai az utóbbi időben a tudománnyal és a tudósokkal szembeni ambivalens érzések felerősödéséhez vezettek. Filozófiai szinten ez a posztmodern gondolkodás tudománnyal szembeni eltökélt szkepszisében nyilvánul meg, a tömegkultúra szintjén pedig új, irracionális irányzatok fellépésében, az okkultizmus terjedésében, a sárlatáság és vulgáris tudományellenesség egyidejű felerősödésében.

Gazdasági változások

A globalizációs irodalom legnagyobb része érthető okokból a gazdasági globalizációval foglalkozik. Ennek legfontosabb jellemzője a nemzetközi munkamegosztás elmélyülése, a szabad kereskedelem újbóli felvirágzása a neoliberális fordulat nyomán, a transznacionális vállalatbirodalmak felemelkedése és expansziója, valamint a pénzügyi piacok nemzetközi összekapcsolódása egyetlen világ-méretű, a nap huszonnégy órájában nyitott pénzügyi rendszerré, amely nélkülöz

bármilyen központi regulációt, ezért válságokkal és más kockázatokkal terhes. Az új informatikai hálózatok lehetővé teszik a tőke- és pénzpiacok összekapcsolását és a villámgyors pénzügyi tranzakciók virtuális egyidejűségét. Ennek eredményeként a pénztőke gyorsan átcsoportosítható a legkedvezőbb befektetési helyekre, és kibújik a nemzeti kormányok ellenőrzése alól. A globalizáció ezért bizonyos értelemben a határtalan kapitalizmust jelenti, amelynek expanzióját semmi sem gátolja többé saját dinamizmusán, valamint azokon a politikai ellenhatásokon kívül, amelyeket a folyamat közvetlen társadalmi következményei váltanak ki. Az elektronikus pénzen, komputerizált átutalásokkal történő pénzügyi spekulációkon alapuló új rendszert nevezik kaszinókapitalizmusnak is, a változások felgyorsult ütemére pedig a turbókapitalizmus kifejezés utal.

A forgó pénz – a spekulatív tőkemozgás – volumenében ma mintegy ötvenszerese a valódi külföldi beruházások összegének (Bretherton, 7). Ma valóban ez tűnik a globalizáció leglátványosabb megnyilvánulásának. Mindenki számára világossá teszi, hogy a pénz előtt nincsenek nemzetállami határok, ami persze nem jelent sem korlátatlanságot, sem a források egyenlőbb eloszlását.

Ami a nemzetközi munkamegosztás fejlődését illeti, egyre több régiót vonnak be a világgazdaság rendszerébe. A világkereskedelmi forgalomba kerülő javak és szolgáltatások felét már a nemzetközi munkamegosztás, a szabadpiaci konkurencia és a globalizált technológiai szttenderdek jegyében állítják elő. A gazdasági autarchia nemcsak nem fizetődik ki, de egyetlen tradicionális politikai rendszer és kultúra sem képes többé ellenállni a globalizáció bomlasztó hatásainak.

A transznacionális vállalatok a politikailag szabad tőke tiszta példái. Rendszerint egy országhoz kötődik a telephelyük, azonban szabadon mozgathatják a tőkét az országhatárok között, leányvállalataik között belső átutalásokat eszközölhetnek, könnyen menekíthetik ki nyereségüket a helyi adók elől, és a szervezett munkaerőt tőke kivonással fenyegetik, amennyiben nem fogadja el az általuk diktált bér- és munkafeltételeket. A multinacionális korporációk felemelkedése annak is jele, hogy növekvő mértékben függetlenítik magukat a nemzeti talajtól. A NIC országok (Newly Industrialised Countries) konkurenciája a termelés kihe-lyezésére készteti a tőkét a szegényebb, olcsóbb bérű országokba, melyekben a környezetvédelmi előírásokat sem veszik túl szigorúan, mert a termelés ökológiai externáliái még a szabad javak körébe tartozónak számítanak. Miközben az OECD-országokban a magas technológiájú ágazatok kerülnek előtérbe, mellest növekvő munkanélküliséget helyezve kilátásba, a nehéz és szennyező iparágak többsége a harmadik világ országaiba helyeződik át.

A multi- és transznacionális társaságok térhódítására jellemző adat, hogy ma már ők adják a világkereskedelmi forgalom döntő részét (egyes adatok szerint 50–70%-át). Koncentrációjuk mértékére jellemző, hogy 1%-uk ellenőrzi az összes külföldi tőkebefektetés felét. A globális piacon működve csak a nemzetközi

kereskedelmi egyezményekhez kell igazodniuk. Mindenüvé saját globális termelési és szervezési kultúrájukat viszik el, megváltoztatva ezáltal a helyi üzleti szokásokat és termelési rendszereket. Tevékenységük különösen intenzív a húzó ipari ágazatokban, a mikroelektronikai eszközök termelésében, de a kommunikáció és média világában is, amelynek kulturális visszahatásaira még visszatérek.

A globalizáció nagymértékben homogenizál a piacok, a termelési szerkezet, a fogyasztási és kulturális minták vonatkozásában, anélkül azonban, hogy egységes emberiséget teremtené. A gyakran észlelhető globalizációs romantikával szemben érdemes leszögezni: egyrészt a piacok sem globálisak, hanem inkább regionálisak, és a ma domináns politikai egység, a nemzetállam helyébe még távolról sem lép az emberiség közössége. Ellenkezőleg, a globalizáció folyamata nagyon tagolt nemzetközi gazdasági és politikai teret alakít ki, amelyben részint a nagy regionális egységek válnak meghatározóvá, részint pedig az Észak–Dél ellentét további elmélyülése tapasztalható. A globalizáció tehát nemhogy nem hoz létre automatikus egységet, de sok helyütt inkább megosztottságot teremt, sokasodó konfliktusokkal. Egyáltalán nem vezet a gazdagság, a kultúra és tudás az eddiginél demokratikusabb eloszlásához sem, s nem kínál az eddiginél egyenlőbb esélyeket. A globalizáció folyamata éppenséggel mély ellentmondásokon keresztül tör utat magának. Miközben minden helyi társadalmat bevon a világérintkezés folyamatába, egyidejűleg felszámolja a tradicionális társadalmak utolsó lehetőségeit is az elszigetelődésre, sajátos kultúrájuk megőrzésére. Ez ma már kétségkívül nem a kolonializmus régi formáiban történik, hanem közvetettebb, ám nem kevésbé hatékony módon, elsősorban a nagy transznacionális, illetve multinacionális vállalatok terjeszkedése és a vezető ipari hatalmak gazdasági hegemoniája révén.

A regionális integrációk növekvő szerepe

A globalizáció hatásának közvetlen eredménye, hogy egyre több olyan gazdasági és hatalmi centrum jön létre, amely átlépi a nemzetállami határokat, és képes a nemzeti kormányok viselkedését befolyásolni, alkalmazkodásra kényszerítve őket. Hirst-Thompson a globalizáció gazdasági aspektusairól szólva a legfontosabbnak azt tekinti, hogy az egyes nemzetgazdaságok teljesen alárendelődnek a nagy nemzetközi gazdasági integrációknak. A globális gazdaság negatív hatásai nemzeti szinten nem védhetők ki, ezért nagy regionális gazdasági tömbök alakulnak ki, amelyek egész földrészeket fognak át. Ezek a nagy regionális integrációk ugyanakkor nem pusztán gazdasági hatalmat testesítenek meg, hanem politikait is, ami a geopolitikai gondolkodás újraéledéséhez vezetett (vö. a civilizációk háborújáról szóló koncepciót, Huntigton 1996). A nagytérési tömörülések jövőbeli alakulására nézve számos koncepció létezik, a leggyakoribb azonban politikailag

semleges pusztá felsorolásuk. Az EU/EFTA, NAFTA/USA és Dél-Amerika, a FÁK országcsoportja és Kelet-Európa, Japán + csendes-óceáni térségi befolyási övezete, Kína + Délkelet-Ázsia, India, Dél-Afrika és a fejletlen országok formátlanabb csoportjai a leggyakoribb szereplők. Ezekben a térségekben a protekcionizmus és bilateralizmus, illetve dereguláció és multilateralizmus sokféleképpen kombinálódik egymással (Hirst-Thompson, in Beck, 1998, 124).

A globalizáció tehát nem jelenti korlátlanul globális piacok vagy termelési rendszerek kialakulását, hanem regionális integrációkon keresztül tör utat magának. A szupranacionális integrációk megjelenése éppen annak a törekvésnek köszönhető, hogy a nemzetállamnál magasabb szinten próbálják meg kivédeni a globalizáció csapásait, hogy megfogható regionális belső szabályokká tegyék a globalizációnak a gazdasági versenyképességgel szemben támasztott követelményeit. A legfontosabb annak megértése, hogy a regionális integrációk mégsem állják útját a globalizációnak, hanem egyben hordozói a globális hatásoknak, és ezzel maguk is felerősítik annak folyamatát (G. Ross, in Axtmann, 1988, 214). A nemzetgazdaságok határai persze nem tűnnek el, az államok továbbra is fontos szerepet játszanak a globális hatalmi hierarchiában, de önállóságukat már jóformán csak ezeken a tágabb integrációkon belül tudják megőrizni. (Erre a kérdésre visszatérünk az Európai Unió kapcsán.)

A globalizáció, mint látjuk, önmagában nem szül politikai megoldást az általa előidézett problémákra. Mint „határtalan” kapitalizmus, olyan rendszert teremt, amelyben a tőke és a pénz mozgása szabad, nincsen országhatárhoz kötve, ám egy országhatárok felett álló világkormányzat mégis csak a távoli jövő homályába burkolózik. A globalizáció transznacionális aktorai az államok feje fölött ténykednek, és ezáltal mind jobban aláássák a nemzeti kormányoknak azt a képességét, hogy szabályozzák a belső gazdasági folyamatokat. Amint U. Beck fogalmaz, nem létezik a keynesianizmusnak, a nemzetállami szinten bevált válságmenedzselésnek globális alternatívája. A globalizáció tehát nem központilag irányított folyamat, nem létezik világkormány, és a világgazdaság alakulását nem szabályozza semmiféle világgazdasági minisztérium.

Észak és Dél ellentétének kiéleződéséről

Az új kihívásokhoz sikerrel alkalmazkodók, mindenekelőtt a fejlett centrum országai, a globalizáció nyertesei lesznek, míg az elmaradottabb, dezintegrált, perifériás társadalmak a vesztesei. A szegényebb országok jobban megszenvedik a globalizáció romboló hatásait, és kevésbé vagy igen egyenlőtlenül élvezhetik az áldásait. Ezáltal egyre nő a szakadék a fejlett és a „fejlődő” világ között, sőt azon belül is nagy regionális különbségek alakulnak ki (Ágh, 1997, 88–89). Minden

adat a jövedelmek és a fogyasztás, az energiafelhasználás növekvő egyenlőtlenségéről számol be a gazdag és fejlett Észak és a szegény és fejletlen Dél országai között. Ma a világ lakosságának egyötödét kitevő ipari országok használják fel a világ erőforrásainak négyötödét. Ráadásul mindez meglehetősen pazarló termelés és luxusfogyasztás mellett történik, miközben a fejlődő világ lakosainak jelentős része legalapvetőbb szükségleteit sem képes kielégíteni. Ha a globalizáció nem lenne több, mint csupán a modernizációs folyamat egyszerű és folyamatos kiterjesztése, már az is közvetlen ökológiai katasztrófához vezetne. Ezt példázzák azok az óvatos becslések is, amelyek annak felmérésére irányulnak, hogy mit is jelentene, ha Kína egymilliárd lakosa autóba ülne. A fejletlen országok többsége ugyanakkor csak nagyon egyoldalúan, monokulturális termelési rendszerben képes bekapcsolódni a nemzetközi kereskedelembe, s azt is általában csak a multinacionális vállalatokon keresztül teheti, amelyek szinte kizárólagosan rendelkeznek a kereskedelmi láncolatok, a szükséges tőke és hiteleszközök felett. Gazdaságuk ezért rendkívül kiszolgáltatott a világpiaci ármozgásoknak és konjunkturális ingadozásoknak. Még az iparosodásban sikeres, ún. NIC országok is jelentősen eladósodtak, a mezőgazdasági vagy bányászati monokultúrákon alapuló társadalmak kilátásai pedig még borúsabbak. A biotechnológia és más modern iparágak fejlődése rövidesen akár fölöslegessé is teheti a Dél országainak exportképes termelési kapacitásait és nyersanyagforrásait, növelve gazdasági kilátástalanságukat és csökkentve súlyukat a világkereskedelemben.

A munkavállalók gazdasági erejének és politikai befolyásának csökkenése

Az egyre gyorsabb és átfogóbb közlekedési és tömegközlelési rendszerek mind szorosabb egységbe fonják a világot. Nagy szabadkereskedelmi zónák jönnek létre, felszabadítva a pénzt, a tőket, az áruk és szolgáltatások áramlását. A munkaerő zöme eközben mégiscsak nagymértékben helyhez kötött. A legfejlettebb ágazatokban dolgozó magas kvalifikáltságú, mobil munkaerőt kivéve az emberek többsége nehezen veszi át az új tempót, nem tud egykönnyen elszakadni a gyökereitől. Politikai lojalitásuk és kulturális identitásuk is általában helyi, regionális és nemzetállami keretekhez kapcsolódik. A humán tőke gesztációs időszaka hosszabb, mint amilyen gyors alkalmazkodást, rugalmasságot a rendkívül mobilis transznacionális tőke a versenyképesség címén megkövetel tőle. Ezért a globalizáció gyors terjedése, amelynek hatásai ma szélesebben futnak végig a világon, kibillentik egyensúlyukból a korábbi nemzetközi pénzügyi rendszert, szétdúlják a hagyományos termelési kultúrákat, a fejlett országok politikai stabilitását is veszélyeztetik. A szociális, jóléti állam korábbi vívmányai egyszerre jelentős költségtevényezőként jelentkeznek, az alapját képező kompromisszum fel-

mondása viszont növeli a munkavállalók kiszolgáltatottságát, és politikai frusztrációt okoz. Visszatérünk a „dezorganizált kapitalizmus” típusához, a szakszervezetek válságba kerülnek, a korporatív érdekegyeztetés formálisan rögzített rendszerei kiüresednek, vagy politikai reformok címén felszámolják őket.

A legnagyobb fenyegetést kétségkívül az új típusú munkanélküliség megjelenése képezi. Az automatizált termelés terjedése a fejlett országokban is milliókat foszt meg a munkájuktól. Az informatikai alapra helyezett, automatizált termelési folyamatok elértektelenítik a hagyományos képzettségű munkaerőt, leértékelik a felhalmozott humán tőke jelentős részét. Egész foglalkozási kategóriák tűnnek el. Ez a munkanélküliség tartósnak ígérkezik, nem úgy, mint a nagy gazdasági világválság idején. Ez persze nem jelenti azt, hogy a változás hasonló politikai következményekkel is járhatna, mint az 1930-as években, hiszen időközben gyökeresen átalakult a társadalmi szerkezet, a jóléti állam, minden válsága ellenére, ma is sokat felfog a munkavállalókat érő csapások súlyából. A tartós szerkezeti változás, illetve strukturális munkanélküliség növekedése miatt mégis sokan már az egyötödös társadalom fenyegetéséről írnak, amely széles középosztályi rétegek proletarizálódását jelentené: eszerint a munkaképes korú lakosságnak csak egyötöde lesz képes megőrizni munkáját és magas életszínvonalát (Martin-Schumann, 1998).

A társadalomszerkezeti átalakulás láthatóan azt a történeti mintát követi, amely a mezőgazdasági népesség gyors apadásában mutatkozott meg az ipari forradalom nyomán. Most az informatikai forradalom jár hasonló hatással a feldolgozóiparban és a szolgáltató szektorokban. A munkaigényes és környezetet terhelő iparágakat kitelepítik az olcsó bérű és alacsony adóterheket jelentő harmadik világba. A politikai visszahatás sem maradt el: a neokonzervatív politika hullámai után megértük, hogy Nyugat-Európában a többség ma ismét a szociáldemokrata pártokra szavaz, abban a reményben, hogy azok talán új választ találnak a globalizáció kihívására, anélkül, hogy felszámolnák a jóléti állam történelmi vívmányait.

Politikai hatások

Ezzel el is érkeztünk a globalizáció politikai hatásainak elemzéséhez. A politikai globalizáció igen összetett jelenség. Legelső jele a nemzetközi rendszer kifejlődése, amely a második világháború után nemzetközi szervezetek sokaságán keresztül intézményesítette a nemzetközi kapcsolatokat, és kialakította a nemzetközi jog normáit. Az ENSZ és szakosított szervezetei mellett sok más kormányközi nemzetközi szervezet is létrejött, s mellettük egyre több olyan transznacionális nem kormányzati szervezet (NGO) jelent meg, amelyek a szélesedő nemzetközi társadalmi kapcsolatok intézményesülései. Egyre növekszik ugyanis az olyan problé-

mák sora, amelyek globális méretekben jelentkeznek, és csak globális szinten, az államok és más transznacionális aktorok közös erőfeszítésével oldhatók meg.

A változások dinamikáját igen jól érzékeltetik a következő adatok. 1909-ben 37 kormányzati nemzetközi szervezet és 176 nem kormányzati jellegű nemzetközi szervezet működött. 1993-ra az előbbiek száma 286-ra, az utóbbiaké 4696-ra nőtt, és azóta évente ezrével szaporodik a nemzetközi NGO-k száma. Mindez arra utal, hogy kialakulóban van egy transznacionális civil társadalom, amelyben helyi csoportok és érdekvédő mozgalmak egymással kölcsönös külső kapcsolatokra lépnek, és egy globális hálózatot alkotnak az őket közösen érintő problémák megoldására. Ezek a szervezetek többnyire, bár nem szükségszerűen, együttműködnek az ENSZ megfelelő szerveivel és más kormányzati szervezetekkel is, a kapcsolatok és tranzakciók gazdag hálózatát alkotva.

A politikai globalizáció másik fontos jele a nemzetállamok gyengülése, amelyek – D. Bell ismert mondásával – túl kicsik a nagy gazdasági problémák megoldására, és túl nagyok a jelentkező kis társadalmi problémák megoldására. A szuverén nemzetállamok a vesztfáliai béke óta a nemzetközi rendszer meghatározó tényezői, azonban mindinkább elveszítik ezt a szerepüket. A nemzetállami szinten lehetséges problémamegoldás háttérbe szorulásával párhuzamosan növekszik a regionális kooperációk és integrációk jelentősége. Nagy gazdasági térségek és geopolitikai tömörülések – nemzetközi rezsimek – alakulnak ki, amelyek a nemzetállamok biztonságát és gazdasági érdekeik érvényesülését is szavatolják. (Ezek egyike az Európai Unió is.) A határokon átnyúló problémák szabályozására, a globális méretű problémák megoldására létrejött nagyobb szervezetek viszonylagossá teszik az államok hatalmát. Olyan ügyekről van szó, mint a globális gazdaság szabályainak kialakítása és szankcionálása, a fejlődés problémája, a népességmozgalom, a globális közjavak gondozása, a globális ökológiai problémák kezelése (ózonlyuk, talajerózió, víz- és levegőszennyezés klímaváltozás stb.), melyek egyike sem oldható meg nemzetállami szinten, hanem valóban széles körű kooperációt igényelnek.

A globalizáció hatásai aláássák vagy legalábbis kiüresítik a nemzetállamok korábban korlátlanak tűnő szuverenitását. A nemzetállami kormányok egyre kevésbé képesek belső gazdaságpolitikával, szabályozással kivédeni a kívülről jövő hatásokat: maguk is ugyanolyan versenyhelyzetbe kerülnek, mint a piac magánszereplői. Ez erősíti fel a regionális integrációs törekvéseket, miközben új fragmentálódáshoz és bezárkózási törekvésekhez is vezet.

A globalizációs kihívás különösen élesen jelentkezik a gazdaságilag erősen függő helyzetű, elmaradottabb országok számára, de a fejlett országok sem térhetnek ki előle. Annyira nem, hogy az említett tendenciák – a transznacionális hálózatok növekedése – éppen a fejlettebb országok körében a legerőteljesebbek. A „globalizációs mítosz” kritikusai között sokan vannak, akik szerint a jelenség

lényege éppen abban áll, hogy a fejlett ipari országok még jobban összetömrülnek, mindinkább egymás között termelnek és kereskednek, és kirekesztik a fennmaradó világot. Eközben a fejlett világban is erőteljes társadalmi differenciálódás indul meg, amely felborítja a liberális demokráciák belső struktúráját. J. Habermas ebben a vonatkozásban a globalizálódás fő politikai problémáját abban látja, hogy a legfejlettebb országokban is felmondják a szociális állami kompromisszumot. Ennek következtében megjelenik egy társadalom alatti osztály (underclass), amely képtelen saját erejéből helyzetén változtatni. A társadalomnak olyan szegmensei alakulnak ki ezáltal, amelyek kívül maradnak az állampolgári léten, tartósan pauperizálódnak, és peremlélet élnek. Hátrányaik halmozódnak, a kirekesztődés legkülönbözőbb mechanizmusai egybekapcsolódnak náluk. Ez a réteg ráadásul bővítetten reprodukálódik, és egy új, széles körű proletarizálódás képét vetíti előre. (Itt visszautalnék az egyötödös társadalom víziójára.) A fejlett nyugati világban Habermas szerint ez a deszocializálódás hosszabb távon aláássa a liberális politikai kultúrát, amelynek univerzális önértelmezésére támaszkodik a modern parlamenti demokráciák legitimitása.

Hasonlóképpen érvel R. Dahrendorf is, aki a kör négyszögesítésének nevezte azt a törekvést, hogy egymással összeférhetetlen dolgokat kapcsoljanak össze: 1. megtartsák és erősítsék a világgazdaság viharos széljárásaival szemben a gazdasági versenyképességet, 2. ugyanakkor megőrizték s ne áldozzák fel ezenközben a társadalmi összetartást és szolidaritást, 3. s végül mindezt a szabad társadalom intézményi feltételei között és azok révén hajtsák végre. A demokráciák egyik fő politikai dilemmája ma éppenséggel az, hogy a globalizált gazdaságban a nemzeti kormányok gazdasági teljesítőképességüket, azaz versenyképességüket csak a szociális és politikai célok feláldozásával képesek megőrizni. Ez kemény próba elé állítja belső politikai stabilitásukat, és ellenük fordítja saját polgáraikat. A. Przeworski ugyanezt a jelenséget, némileg kiélezettebben, az új kelet-közép-európai demokráciák helyzetére is kiterjesztette. Eszerint a kormányok mind kevésbé lesznek képesek arra, hogy kárpótolják az átalakulás, a modernizáció veszteségeit. Ebben a folyamatban maga a demokrácia is csorbát szenved – írja Przeworski –, „mivel azok a döntések, amelyek korábban a választott nemzeti tisztségviselők hatáskörébe tartoztak, most olyan szereplők kezébe kerülnek, akiket nem lehet se megválasztani, se meneszteni” (Przeworski, 1993). A nemzetközi pénzügyi szervezetek által megkövetelt válságmegoldó receptek súlyos társadalmi feszültségeket idéznek elő. A kormányok olyan felülről elrendelt reformokra kényszerülnek, amelyek figyelmen kívül hagyják a lakosság teherbíró képességét, valamint a parlament és a közvélemény ellenállását. Ennek folytán „a kormányok inkább saját híveik mobilitására törekszenek, ahelyett, hogy elfogadnák azokat a kompromisszumokat, amelyek a társadalommal folytatott egyezkedésből születnének. Mind ebből a társadalom számára az a tanulság, hogy szavazhat ugyan, de nem választ-

hat; a törvényhozás úgy érzi, hogy nincs szerepe a követendő politika kidolgozásában, a születőfélben lévő politikai pártok, szakszervezetek és egyéb szervezetek számára pedig úgy tűnik, hogy az ő véleményük nem számít. Ezeknek a »washingtoni stílusú« reformoknak az autokratikus jellege hozzájárul a képviseleti intézmények tekintélyének aláásásához, személyeskedővé teszi a politikát, és olyan légkört teremt, amelyben a politika vagy az egymást követő szorult helyzetek megoldására tett próbálkozásokból áll, vagy pedig egyenesen a megváltáshoz vezető útnak tetszik” (Przeworski, 1993).

Ez a dilemma a kormányokat rendkívüli legitimációs teherpróbának veti alá. A globalizáció bomlasztó politikai és kulturális hatásainak kiküszöbölési szándéka felerősíti a protekcionista, izolációs hajlamokat, a regionális különbségek halmozódása pedig belső szeparatizmust szülhet. A nemzetállam számára ezért az egyetlen menekülési útvonal a regionális integrációkba való bekerülés – Európában az EK, illetve az EU tölti be ezt a szerepet (Milward, 1994).

Az Európai Unió mint a globális kihívásra adott válasz

Az európai integráció új, intenzív szakaszához kétségkívül a globalizáció kihívása adta meg a döntő lökést. V. Bornschier a *The Future of Global Conflict* című könyv általa írott fejezetében azt írja: a keynesi társadalmi modell és az Egyesült Államok hegemon pozíciójának hanyatlása együttesen idézte elő és nyújt magyarázatot az Európai Közösség új integrációs impetusára a nyolcvanas években. Ebben az Európai Bizottság járt az élen, amely éberrel ügyel az európai transznacionális vállalatok globális versenyképességére. A szerző idézi a nagyipari vállalkozók európai kerekasztalának dokumentumából: „Függetlenül az Európai Közösség erőfeszítéseitől, hogy liberalizálja a kereskedelmet, fennmarad Európa megosztottsága nemzeti piacokra, amelyek különböző ipari struktúrával rendelkeznek. Ez sok vállalkozást meggátol abban, hogy elérje az ahhoz szükséges méretet, hogy ellenálljon a nem-európai konszernnek versenyéből eredő nyomásnak. Pedig az európai piacnak egyetlen nagy piaccá kell válnia ahhoz, hogy európai cégek hatalmas versenytársakká válhassanak a világ piacain.” Bornschier dokumentálni is tudja ennek az álláspontnak a hatását az Európai Bizottság döntéseire. Ugyanezt a gondolatot publicisztikai kiserelésben is viszontláthatjuk *A globalizáció csapdája* című bestseller műben, melynek újságíró-közgazdász szerzői köntörfalazás nélkül a következőben látják az Európai Unió szükségességét: „Az a feladatunk, hogy a destruktív angolszász piaci radikalizmussal szemben fölmutassunk egy életképes és impozáns európai alternatívát. Egy olyan politikai unió, amelyet közös valuta köt össze, meg a szenvedésekkel teli, de már kihevert közös történelem, a világpolitika erőinek játékában nem jelentene kisebb súlyt, mint az

Amerikai Egyesült Államok vagy a jövő nagyhatalmai, Kína és India. A globalizált piacokon az egyetlen fontos hatalmi tényező a gazdasági nagyságrend, a gazdaság mérete...” (Martin-Schumann, 324.) A szerzők szerint az egyesült Európa a maga 400 milliós piacával, fejlett infrastruktúrájával és humán tőkéjével, kulturális sokszínűségével már elég erős ahhoz, hogy komoly versenytársa legyen az amerikai, japán és délkelet-ázsiai regionális integrációknak.

A nemzetállamon túli integrációk ugyanakkor legalább annyi új problémát vetnek fel, mint amennyit megoldanak. Az EU vonatkozásában a társadalomkutatók megállapítják, hogy ha az integrációt előbb-utóbb nem kíséri egységes gazdaság- és szociálpolitika, akkor belső kötőanyaga igen gyenge marad, és nem képes az identitás új fókuszává válni. Kérdés persze, hogy egyáltalán lehetséges-e az EU számára hasonló állampolgári öntudatot és szolidaritást teremteni, mint amin a régi nemzetállamok alapultak. Minden ilyen integráció egyszersmind defenzív szövetség is a világ többi részével szemben, ami megkönnyíti az alkalmazkodást, cserébe viszont a „civilizációk háborújával” fenyeget, legalábbis addig, ameddig világméretekben nincs egy olyan koordinációs mechanizmus, amely szabályozza és elviselhetővé teszi a globalizáció előidézte konfliktusokat. A mai nemzetközi intézmények a globális kormányzás funkcióját még a gazdasági szabályozás vonatkozásában sem képesek teljesíteni. Ám végképp nem tudnak kollektíve kötelező erejű döntéseket hozni, biztosítékokat teremteni a szociális és ökológiai válság ellen. A világtársadalom és világpolgári állapot elképzelése mindaddig utópia marad, ameddig nem jön létre a „globális kormányzásnak” (global governance) egy a mainál hatékonyabb szervezete az ENSZ vagy egy új formáció kereteiben.

Globális problémák és a nemzetközi rendszer

A planéta határai, a természeti korlátok megakadályozzák, hogy egyes országok tartósan másokra háríthassák a globalizáció kockázatait és költségeit – más szektorokra, régiókra, idegen kultúrákra, a jövő generációra. A legfontosabb ilyen globális problémák a népességgrobbanás és következményei, a környezetvédelem és a biztonság, amely a globalizáció körülményei között új dimenziókat ölt.

a) A globalizálódás egyik leglátványosabb eleme a népességgrobbanás, amely kasszandrai jóslatokat eredményezett az emberiség jövőjét illetően, s amelynek dinamikája alig csökkent az utóbbi évtizedekben. A fenyegető ökológiai válság mellett az egyre növekvő népesség, amely éppen nem a világ prosperáló övezeteiben kulminál, az emberiség számára a legnagyobb kihívások egyike az új évezred küszöbén. Nemcsak az emberiség „antropológiai egyensúlya” változik meg ezáltal, felborítva a rasszok megszokott arányait és eloszlását, de a népességgrob-

banás következményeként egyre nő és mélyül a nyomor is. Ez pedig a szegény országokban az erőforrásokkal való rablógazdálkodásra készítet, továbbá folyamatosan újraszüli a politikai és fegyveres konfliktusokat; az inség és a háborúk együttesen pedig új népvándorlási hullámokat váltanak ki. Évente már most is 30 millió ember járja a világ országútjait, és a legnépesebb, nagy ázsiai országok lakosai még meg sem indultak. Az új népvándorlás potenciális méreteiről apokaliptikus víziók fogalmazódtak meg, s a vele szembeni védekezés a liberális demokráciákat zárt katonai táborokká változtathatja a jövőben. (Lásd az „Európa mint fehér erőd” szélsőjobboldali koncepcióját.) A menekültprobléma humánus kezelése milliók számára vált elsődleges fontosságúvá. (A kérdés rendkívüli bonyolultságához vö. *UNHCR Report 1997–98*.)

b) A globális környezeti veszélyek elhárítása, amelyekre először a Meadows-jelentés hívta fel hatásosan a világközvélemény figyelmét, ugyancsak globális mértékű közös összefogást követelne meg. Itt azonban azonnal jelentkezett a közjavak ismert dilemmája, amelyek áldásaiból mindenki részesedni kívánna, ám az érdekeltek nem képesek megegyezni a hozzájárulás mértékében, ezért minden marad a régiben, és lassan pusztulnak a közjavak. Tipikusan ilyen helyzet adódik az esőerdők kiirtása, az ózonlyuk elleni védekezés, illetve a globális felmelegedés kérdéseiben. Nemzetközi konferenciák sorát rendezték meg e tárgyban, s hogy igen sovány eredménnyel, arra az is magyarázat, hogy ebben a játékban természetesen nemcsak az egyes országok és országcsoportok vesznek részt, hanem a transznacionális vállalati érdekek is ott állnak a háttérben, gyakran a hegemon hatalmak politikai támogatását élvezve, és meggátolnak minden olyan közös elkötelezettséget, amely az érdekeiket sértené. Az 1972-es stockholmi környezetvédelmi konferenciától a ’92-es riói, a ’94-es nairobi konferenciáig kudarcok és részleges sikerek váltogatták egymást. A légkör védelméről szóló berlini és a genfi konferencián a transznacionális társaságokat képviselő titkos lobbyknak a konferencia eredményességét megghiúsító szerepéről érzékletes beszámolót nyújt Martin és Schumann (1996, 295–298). Történik némi lassú elmozdulás egy közös stratégia irányába, de korántsem olyan mértékben, mint arra szükség lenne a jövőendő katasztrófák elhárítása érdekében. A transznacionális civil társadalmi szervezetek kezdeményezései, mint a fejlődő országok adósságainak „zöld” (erdő- és állatvédő) projektek belső végrehajtásával való kivásárlását célzó akciók (green swamp), olykor több eredményt érnek el, mint a felelős politikusok megállapodásai, akik igen gyakran a saját vélt vagy valós nemzeti (?) érdekeik foglyai.

c) A biztonság kérdései is új módon vetődnek fel a globalizáció kontextusában. A biztonság katonai oldala továbbra is jelentős ugyan, bár egy közvetlen termonukleáris háború veszélye a hidegháború vége óta jelentősen csökkent. A tömegpusztító fegyverek terjedését persze korántsem sikerült meggátolni, amire példa az atomhatalom küszöbére érkezett államok számának szaporodása;

legutóbb éppen India és Pakisztán lépte át a küszöböt, melyek között az állandó és fel-fellángoló határvillongások a katonai összeütközés eszkalációjával fenyegetnek.

De a globalizáció negatív mérlegéhez tartozik a helyi konfliktusok intenzitásának növekedése is, amelyet a fejlett országokból a fejletlenekbe irányuló fegyverkereskedelem táplál. A hidegháború végével a felhalmozott fegyverkészletek nem kerültek a lomtárba, sőt mind modernebb fegyverrendszereket exportálnak a fejlődő világba. Az automata kézfegyverek terjedése pedig növeli a – gyakran épp a globalizáció által teremtet – helyi konfliktusok fegyveres megoldására való hajlamot (gondoljunk a hutuk és tuszik öldöklésére).

A modern háború természete ugyanakkor mégis gyökeresen megváltozik a globalizáció hatására. A hidegháború még nukleáris Armageddonnal fenyegetett, ezért a nagyhatalmak kerülték a globális katonai konfrontációt, és kölcsönös együttműködéssel igyekeztek korlátot szabni az annál intenzívebben folyó helyi háborúk eszkalációjának. A hidegháború végével azonban, a multipoláris világrend még kialakulatlan káoszán túl, új, globális konfliktusvonalak jelentkeznek. A nyugati civilizáció és kultúra kozmopolitizmusa szembekerül a hagyományos hatalmi politikával, illetve a partikuláris, politikai és kulturális (nemzeti) identitásukat védő hatalmakkal – ezt az ellentétet fogalmazza meg Huntigton a „the West and the rest”, baloldali nézőpontból pedig B. Barber a „Jihad versus McWorld” metaforájában. De függetlenül attól, hogy a hatékony harci eszközök terjedése mindenütt növeli a konfliktusok erőszakos megoldására való hajlamot, a háború egyértelműen a fejlett világ peremvidékeire szorult. Eközben a haditechnikának az informatikai forradalommal bekövetkezett ugrásszerű fejlődése a fejlett országok részéről lehetővé tette a korlátozott és gyors csapásmérés új stratégiájának alkalmazását az engedetlen végekkel szemben.

A fejlett demokratikus országokban ugyanis az elmúlt évtizedekben közismerten a háborúellenes beállítottság vált uralkodóvá. Nemcsak az ENSZ státútuma veti el a háborúhoz mint a konfliktusmegoldás eszközéhez folyamodást, hanem a demokratikus civil társadalom politikai kultúrája is egyre pacifistább. A fejlett országok hatáságainak egyre nehezebb saját lakosságukkal elfogadtatni bármilyen háborúban való részvételt. Ha korábban a háborút könnyen el lehetett adni mint a nemzeti érdekek védelméhez szükséges rosszat, sőt jót, ma már bármilyen háború indítása nagymértékben igazolásra szorul a fejlett demokráciákban. Miként Castells írja, ma már a nyugati országok közvéleményében csak a háború olyan formája tűnik igazolhatónak, amely: 1. nem vonja be a hadviselésbe a civil lakosságot, hanem azt a lehetőleg professzionalista katonák vívják meg; 2. rövid ideig tart, s azonnali eredményt hoz. A háború elhúzódása ugyanis nemcsak elapasztja a nemzetgazdaság forrásait, fenyegetve a jólétet, hanem a háború céljára és igazolhatóságára vonatkozó nyilvános vitával is jár, amely komoly

teherpróbának veti alá a kormányzat legitimitását és a nemzeti egységet. 3. Korlátozott hatókörű, sebészi pontosságú beavatkozások történnek, gyakorlatilag saját veszteségek nélkül. A gyors és „tisztá” háború imázsát a háborús információk ellenőrzése, folyamatos cenzúrája is erősíti. (Castells, 1996, 456.) Az ilyen „instant” háború ráadásul médiakonform is, és erősítheti a patrióta érzelmeket. Legitimáló erővel bír a fennálló rend számára azáltal, hogy aláhúzza a béke és biztonság szigetének kontrasztját a hadakozó külvilág nyers barbárságával szemben. A háborúkat ezentúl egy új univerzális morál (az emberi jogok védelme) jegyében lehet megvívni, amihez a nemzetközi jogot is igazítják, és elnyerhetik hozzá a polgárok erkölcsi beleegyezését.

Természetes lesznek továbbra is különböző intenzitású lokális háborúk, amelyek drámaiságán nem változtat az, hogy korlátozottak. Ugyanakkor új jelenség, hogy hatalmasan megnövekszik a biztonság nem katonai dimenziójának a jelentősége: az ökológiai katasztrófák fenyegetése, a gazdasági összeomlás és politikai instabilitás által kiváltott menekültáradat, a drogkereskedelem, a nemzetközi bűnszövetkezetek és a terrorizmus megannyi biztonsági kockázatot jelentenek. S miközben a bűnüldözés és a rendfenntartás a nemzetállamok kompetenciájába tartozik, a globális közlekedési és informatikai hálózatok a bűnszövetkezetek, drogkereskedők és a terrorizmus esélyeit is hatalmasan megnövelik. Velük szemben csak nemzetközi megállapodások, kormányközi és nem kormányközi jellegű szervezetek összefogása érhet el eredményt.

A kulturális globalizálódás társadalmi és politikai hatásai

A globalizálódással együtt kialakuló új kommunikációs rendszerek átlépik a nemzeti kultúrák határait, és távlatilag egy kozmopolita tömegkultúra kialakulását jelzik. Nyomában új transznacionális életformák és életstílusok, kulturális minták jelennek meg, amelyek terjedését elősegítik a tömegmédiá által manipulált kulturális divatok, az általa közvetített reklám- és marketingstratégiák.

Ezen a ponton vált a leginkább érezhetővé, mennyire zsugorodik glóbuszunk; MacLuhan már korán kiadta a jelszót, hogy kommunikációs szempontból mindinkább egyetlen nagy falut alkotunk. Ez a kép azonban csak virtuális egységet teremt a népek és kultúrájuk között. Elsősorban a nagy médiabirodalmak azok, amelyek az egységes világtársadalom szép új világának utópiáját rajzolják elének. A világ eseményeiről beszámoló híradások is mindenekelőtt azoknak a világképet sugározzák, akik elég tőkével rendelkeznek ahhoz, hogy hírügynökségeket, adóállomásokat, műsorsugárzó műholdakat, adatátviteli hálózatokat építsenek ki és tartsanak fenn. Számukra elsődlegesek a pénzvilág és az arra hatással lévő politikai hírek, de talán még fontosabb a fogyasztói tömegcikk reklámja. Ebben

a nagy médiakonzorciumok által teremtett imaginárius térben olyan benyomá-sunk támad, hogy minden esemény lényeges, amelyet élénk tárnak, amiről pedig nem szólnak, az nem is létezik. Ez rendkívüli mértékben erősíti a globalitás tudatát. Egy történés akkor számít globális eseménynek, ha virtuálisan egyidejű tapasztalatként tálalják a tömegmédiában, és a nagy médiabirodalmak pontosan ezt teszik.

Természetesen a globalizálódó világ egyes eseményei valóban szorosan összefüggnek, egyes történések éppen a gyors kommunikáció révén szinte azonnal éreztetik hatásukat a világ legtávolabbi részein, amint azt az ázsiai pénzügyi válság, az olajárrobbanás, a rendszerváltozások stb. közvetlen és továbbgyűrűző gazdasági és politikai hatásai mutatják. De a legfontosabbnak mégis egy olyan globális tömegkultúra kialakulása tetszik, amely megváltoztatja a világról való gondolkodásunkat. A modern tömegkulturális ipar termékeinek áradata lehen-gerlő hatású. A „szatellitek, kábelek, sétáló- és videómagnók, CD-k alkotják azt az érrendszert, amelyen keresztül a modern szórakoztató iparágak homogenizál-ják a globális kultúrát” (Mander–Goldsmith, 1996, 71). Ennek érdekében mind nagyobb fúziók zajlanak a világ sajtó- és médiapiacán; egész világrészeket besu-gárzó, nagy hálózatok jönnek létre, amelyek gyökeresen megváltoztatják a helyi kultúrák helyzetét. A médiamogulok uralják a műsorgyártás és hírszolgáltatás piacát. „A nagy médiabirodalmakban sosem nyugszik le nap. [...] A Perzsa-öböl és Korea között minden az ausztráliai Rupert Murdoché. Műholdadója, a hong-kongi székhelyű Star TV négy időzónát lát el műsorral, és ezen a területen él a Föld lakosságának fele.” Hasonlóan átfogó birodalmat épített ki Ted Turner a CNN-nel, amely azóta további fúziókba bocsátkozott. „Az ő képeik uralják az ál-mokat, és a tetteket az álmok határozzák meg” (Martin–Schumann, 1998, 28–29). A médiakultúra megasztárjai óriási közönséget babonáznak meg, amelyek nagy távolságokban élhetnek egymástól. „A szülőkkel, mullahokkal, főnökökkel, bürokratákkal és politikusokkal szemben ezek keveset követelnek a hódolóiktól – legfeljebb arra készítetik őket, hogy érezzék jól magukat, és egyre csak vásárol-janak.” (Mander–Goldsmith, 1996, 72.) A tömegkulturális ipar termékei, a filmek és zeneszámok piaca mind nagyobb és homogénebb. A helyi kultúra követői el-némulnak a világméretű sztárparádében; előfordul ugyan, hogy egyik-másik lo-kális kultúra követte megtermékenyíti a popzenét, de inkább csak a folklorisztikus dallamok és ritmusok csendes megrablása történik.

A filmek esetében a globalizáció ellen fellépők legerősebb érve az, hogy az amerikai filmipar dömpingje elszorvasztja a nemzeti filmgyártást. A dél-amerikai televízióban bemutatott filmek túlnyomó többsége amerikai, általában holly-woodi, állítja L. Carlos Barreto brazil filmproducer. A televízió a tömegnevelés leghatalmasabb ereje a szegény országokban. Latin-Amerika és Ázsia kulturális nacionalistái fel vannak háborodva azon, hogy a következő generáció legbefolyá-

sosabb nevelői a hollywoodi filmstúdiók és a globális reklámügynökségek (Mander–Goldsmith, 1996, 75 skk). (Mellesleg a Magyar Televízió is hasonló úton jár; az ORTT jelentései szerint az itthon bemutatott filmek közel 60%-a már most is amerikai, holott itt vannak versenytársnak az európaiak, sőt a dél-amerikai szappanoperák is. A szélesebb európai kulturális piac valamit enyhít az egyoldalúságon, viszont a magyar filmgyártás és tévéprodukciók versenyképtelenné váltak. Magában az Európai Unióban is amerikai a tévéfilmek túlnyomó része; ezt próbálják ellensúlyozni azok a kultúrprotekcionista intézkedések, amelyek az amerikai filmproducerek élénk tiltakozását váltják ki. Ilyen pl. a „határok nélküli televíziózás” programja, amely arra irányul, hogy az európai gyártású műsorok arányát legalább 51%-ra tornássa vissza.) Az egész világra jellemző tendencia, hogy a helyi kultúra képviselői és a nevelés hagyományos ágensei nem tudnak versenyezni a globális média figyelemfelkeltő és vonzó mintaadó hatásaival.

Mindez azonban nem okvetlenül igazolja vissza azokat a kultúrpeszsimista vélekedéseket, hogy a nyugati kultúra „klónozásával” egyfajta globális monokultúra alakulna ki. Fontos megértenünk, hogy a globális kultúra kialakulása nem azonos a kultúra veszternizációjával, nyugati gyarmatosításával. Ahhoz túl erős a helyi kultúrák ellenállása. Négyféle módja van annak, ahogy a globális kultúra az egyes közvetített kulturális tartalmakhoz viszonyul: 1. ellenállás, 2. vonatkozás nélküli egymás mellettiség, 3. bekebelezés (passzív integráció), 4. autentikus elsajátítás. A hatás tehát nem automatikus, alkalmazkodni kell valamelyest a kulturális környezethez. Kétségtelenül létezik azonban a kulturális elidegenedés jelensége, amely abban áll, hogy a nyugati életstílus és életvitel vonzó mintái lenyűgöző hatást gyakorolnak az elmaradottabb térségek lakóira és főleg a fiatal nemzedékekre. Olyan fogyasztási cikkekkel és életmódmintákkal ismertetik meg őket, amely cikkeket ők maguk nem tudnak előállítani, és olyan vágyakat ültetnek beléjük, amelyeket saját környezetükben nem elégíthetnek ki. Ez a kulturális tömegfogyasztást az éscapizmus egy válfajává teszi, és rombolólag hat a saját kulturális tradíciókra. Ezért érthető a fundamentalisták panasza a nyugati média „kulturális imperializmusára”.

Az autenticitás elvesztése persze minden kultúrkritika örök panasza. Ez valóban jellemző a tömegkultúrára, de nemcsak a globálisra, hanem a nemzetire és általában a „nyugati” kultúra egészére is. A kialakulóban lévő új, kozmopolita kultúra azonban előreláthatóan vegyes karakterű lesz. Előbb-utóbb minden kultúrkörnek kialakulnak a maga kulturális hőroszai és uralkodó mintái. (Ezt jelzi pl. a brazil tv-szériák versenyképessége a népszerű amerikai szappanoperákkal szemben.) A populáris tömegkultúra valójában arra is alkalmas, hogy kulturális ellenmozgalmak hordozója és az etnikai-kulturális öntudat táplálója legyen.

A kulturális identitás egyik legfontosabb eleme a nyelv, ezért gyakran ez kerül a politikai viták középpontjába. Nem a franciák kezdték a tiltakozást a nyelvi

elidegenedés ellen. Newt Gringrich képviselői csoportja többször is előterjesztett olyan javaslatokat, hogy az Egyesült Államokban csak angolul szabadjon beszélni, háttérbe szorítva a spanyolt. A francia államelnök pedig felhívta a frankofon országok figyelmét, hogy védekezzenek az angol nyelv egyeduralkodó törekvéseivel szemben, és különféle nyelvtörvényekkel próbálják meggátolni az angol mint egyetlen lingua franca uralmát az Európai Unión belül. Ezek a küzdelmek teljesen jogosultak, s bár az angol nyelv hegemon pozíciója ma aligha kérdőjelezhető meg, a nyelvpolitikai küzdelmek a globális kultúra kialakulásának elkerülhetetlen velejárói lesznek a következő évtizedekben.

A kulturális homogenizáció mellett a differenciák univerzalizmusa érvényesül: az tesz minket hasonlóvá, hogy mind különbözőek vagyunk. A kulturális globalizáció elkerülhetetlenül a különbségek univerzalizmusához vezet, a multikulturalitás normává válását eredményezi. Közvetlenül ebből az egymással konkuráló nyelvek és identitások zűrzavara származik. A *multikulturalitás* új eszménye ezt a társadalmi-politikai állapotot tükrözi vissza, ám egyszersmind idealizálja is. E nézet képviselői úgy látják, hogy a tradicionális közösségek és a nagypolitikai csoportok (pártok) gyengesége már eleve csak kisebb-nagyobb kulturális vagy lokális közösségekre építő politikai identitásnak ad esélyt. Azonban a kisebbségi identitások felvirágzásának új hulláma nem feltétlenül csökkenti a globalizációval járó politikai bizonytalanságok kínját. A multikulturalitás olykor csak új konfliktusokat támaszt, és átpolitizál olyan viszonyokat, amelyek korábban politikailag közömbösek voltak. Az ilyen kulturális különösségekre épülő identitások gyakran kizáró jellegűek, és éppenséggel háttérbe szoríthatják a politikai közösség tudatát, növelve a politikai elidegenedést. A görög *polis*z fogalma még olyan politikai közösséget jelentett, amely a városállamon belüli elismert különbségeket egyetlen átfogó egységbe foglalta. Ennek gyakran már az igénye is eltűnedezik a posztmodern politika horizontjáról, amelynek eszménye a multikulturalitás.

A politikai demokrácia jövője

A hagyományos politikai és más közösségi identitások megrendülése ellenreakcióként új identitáspolitikákat hív életre, amelyek szembefordulhatnak magával a modernizációs folyamattal is, akár lokális, akár regionális dimenzióban. A nemzetállam válsága, az etnikai és kisebbségi alapú multikulturális identitások erősödése éppúgy, mint a szupranacionális integrációk létrejötte, kérdésessé teheti a demokrácia jövőjét is abban a formában, ahogy ma ismerjük.

A politikai közösségek új kialakulásának alapja a kapcsolatok fokozódó területenkívülisége (*exterritoriality*). A globalizáció kommunikációs univerzalizmusa lehetővé teszi a távollevő jelenlétét, avagy a szociális dimenzió dekontextualizálódását. Ez az imaginárius kommunikációs közösség lép most nagy

elbeszélésként a posztmodern dekonstrukció nyomában keletkezett üresség, káosz helyébe. A geográfiai és a szociális közelség tehát kettéválik, a távollevők közössége átélhetővé válik földrajzi szomszédság nélkül is. Nép, nemzet, kultúra, társadalom, osztályok, állam és állampolgárság, parlamenti demokrácia egykor mind a politikának egy területileg korlátozott formájához kapcsolódtak, amely, meglehet, rövidesen a múlté.

Az exterritorialitás problémája azon alapul, hogy az emberek a telekommunikáció révén virtuális társadalmi kapcsolatba léphetnek távol élő emberekkel, akikkel új kommunikációs közönséget alkotnak, minden konkrét területi kötöttség nélkül. A világ nagyvárosaiból szerezhetjük az ismerőseinket, miközben fogalmunk sincs, hogy mi történik a közvetlen szomszédunkban. Ez is a politikai elidegenedés egyik formája. Mint R. Sclove írja, on-line üzemmódban élhetjük az életünket, a természethez és az emberekhez való közvetlen vonatkozás nélkül. „Ennek politikai kockázata a következő: amint a virtuális közösség átveszi a szentől szembe közösségek helyét, területen kívüli társadalmi elkötelezettség és politikai rendszerek egyvelegébe lépünk. Milyen politikai ítéletekhez vezet az, ha adott területen élő polgároknak többé semmi dolguk egymással, illetve az adott térség realitásaival?” (In Mander–Goldsmith, 1996, 357.)

Miközben a liberális demokrácia hagyományos formái kiüresednek, sokan nagy reményeket fűznek az új teledemokráciához, amelyet éppen a kommunikációs hálózatok terjedése tesz lehetővé. A demokratikus lehetőségek netovábbjának érzik az internetet, a személyi számítógépek által hozzáférhető információs lehetőségeket. Úgy vélik, hogy a számítógép decentralizál, visszaadja a hatalmat az egyének kezébe, akik ellenőrizetlen kommunikációt folytathatnak egymással. „Korunk szimbóluma nem az atom – idézi Mander Kevin Kellyt –, hanem a háló.” Ezzel a „techno-spiritualizmussal” szemben azonban a kritikusok rámutatnak arra, hogy a virtuális demokrácia még nem valóságos. A valódi hatalom a transznacionális korporációk kezében marad, amelyek óriási gazdagságot és hatalmat koncentráltak kevés kézben. E vállalatok tulajdonosai és menedzserei hozzák meg a valóságos döntéseket, képesek kormányokat felemelni és megbuktatni, egész néprétegek egzisztenciális esélyeiről dönteni, és képesek az információ áramlását is ellenőrzésük alatt tartani. „A multinacionális korporációk decentralizálják működésüket és a munkát szerte a világon, de egyszersmind intenzívebbé teszik a decentralizált operációk feletti centralizált ellenőrzést. [...] A számíterek segíthetnek az egyénnek abban, hogy hatalmasnak és kompetensnek érezze magát, és bizonyosan sokféle módon hasznosak is. De semmit nem változtatnak a hatalom manapság zajló gyors globális koncentrációján, ellenkezőleg. Valójában a komputer-technológia talán a hatalmi centralizáció valaha feltalált egyedülálló és leghathatósabb eszköze.” (Mander–Goldsmith, 1996, 355.)

A politikai globalizáció hatásaira való reakciók igen sokrétűek, attól függően, hogy mit fájlnak leginkább az elszenvedett sérelmekből. A nemzetállami szuverenitás gyengülése idézi elő a legnagyobb ellenállást, de a kulturális elidegenedés fenyegetése is heves reakciókat vált ki. Az ilyen tendenciák összetetalálkozása pedig a globalizáció ellen forduló fundamentalista lázadásokhoz vezet, amelyeket B. Barber az iszlám kultúrából vett hatásos metaforával „jihad” néven foglalt össze. „Két tábor áll egymással szemben titáni küzdelemben, amelyek olyan ellenségesek, mint a kapitalisták és kommunisták; nevezetesen a nacionalista és xenofób, a hazai talajban gyökerező tábor, valamint az idegen után áhítozó és kíváncsi kozmopolitáé, akik égnék a vágytól, hogy a nemzeti korlátoltságot egy tágabb ruházatra cseréljék.” (Bruckner, Pascal, idézi Zürn, in Beck, 1998, 297.) Az univerzalista tábor az integrációk további elmélyítésétől várja a megoldást, a fragmentáció táborá ellenkezőleg.

Nyugat-Európában a politikai reakciók szélsőséges politikai pártok fellépésében mutatkoznak meg. Érdekes tipizálását adja az ilyen célú nyugati ellenmozgalmaknak Zürn (in Beck, 297 skk.). A *barnák* [neofasiszták, DVU, National Front (UK), Le Pen Front Nationalja, a republikánusok és az olasz MSI] azt mondják: mentsétek meg az etnikumot! A *jobboldali populisták*, mint az osztrák FPÖ a maga Haiderével, a skandináv haladás párt, a Forza Italia, etnonacionalista nézeteket kevernek neoliberális programpontokkal. Az idegenellenes akciók, robbantások aktivistái könnyen csapódnak hozzájuk. Emellett azonban erősödnek a *regionalista* és *szeparatista* csoportok is. 1990 óta az európai integrálódás elmélyülése ellenére, vagy talán éppen azért, több etnikai konfliktus volt Európában, mint valaha. Ezeknek csak egy része írható a kelet-európai átalakulási válság számlájára, jelentős részük a fejlett nyugati országokban lépett fel, mint a katalánok, a Lega Nord, a baszk szeparatizmus, sőt olyan konszolidált országokban, mint Belgium vagy Kanada (Québec) is jelentkezett ez a tendencia. A hátrányos társadalmi csoportok küzdelme az elismerésért ugyan nem sorolható kifejezetten az etnikai konfliktusok közé, mégis jelentős tényező, és erejüket szintén a globalizáció új lehetőségei, az új hálózatok által indukált új közösségi identitás adja.

A globalizációs válságra másként reagál a *feketék* táborá, akik a fokozódó dereguláció hívei. Ők azt mondják: mentsétek meg gazdasági pozícióinkat, ha kell, a szociális kirekesztés árán is! Politikai programjuk gerincét neoliberális receptek alkotják, s ők szorgalmazzák leginkább a szociális állami kompromisszumok felmondását, gyengítve a liberális demokraták társadalmi kohéziójának alapjait. A válságra adott *vörös* válasz a szociáldemokraták régimódibb képviselőitől jön: mentsétek meg a jóléti államot, ha kell, piacvédő intézkedésekkel! Ez azonban nehezen járható út, amennyiben csak tovább rontja az érintett országok gazdasági pozícióit. A *zöld* válasz a következő: mentsétek meg a környezetet ökológiai adókkal, alternatív termeléssel, a nem környezetbarát termékekkel szembeni

büntetőszankciókkal! Végül a legpragmatikusabb válasznak a következő tűnik: mentsétek meg a demokráciát – óriáskoalícióval! A szivárványkoalíció amerikai formája valami ilyesminek a főpróbája, amelyet a kommunitarizmus új ideológiája támaszt alá, mely a közösségi értékeket az individuális jogok elé helyezi.

*

A rendszerváltozás óta a kelet-közép-európai országok is nyitottá váltak a globalizáció egyetemes hatásai iránt, sőt, a megfigyelők rámutatnak arra, hogy lényegében a globalizáció kihívása buktatta meg őket. Milyen következményekkel jár politikai identitásunkban, gondolkodásunkban és kultúránkban a nyílt szembe-sülés a globalizáció kihívásaival? Az általános lelkesedés a haladás áldásai iránt nálunk is összekapcsolódik a jogos aggodalmakkal a globalizációnak a frissen visszanyert szuverenitást és a helyi kultúrát elsorvasztó hatásai miatt.

A globalizációra való reagálás különböző nacionalista válfajait hazai tapasztalatokból is ismerjük, a radikális jobboldali Csurka Istvántól a nemzetféltés más, konzervatívabb apostolaiig bezárólag. A modern, globalizált világban jól eligazodó értelmiségi és vállalkozói rétegek többsége érzéketlennek mutatkozik az ilyen problémák iránt, ami azonban csak tovább fűti a nacionalista indulatokat. Ők azok, akik már megérkeztek a globális világba, egy transznacionális elit tagjaként. Mint M. Kaldor írja: „Lehetséges a globalizált tevékenységekben részt vevő emberek egy globális társadalmi osztályáról beszélnünk. Ők azok, akik repülőgépen vagy az Eurostaron utaznak, akik telefonon, faxon és e-mailen tartják a kapcsolatot, nemzetközileg elfogadott hitelkártyát használnak, műholdas televízió-elérhetőséggel rendelkeznek, és többnyire angolul beszélnek. Ők vannak kisebbségben. Az emberek nagy többsége területileg, nyelviileg és kulturálisan gúzsba kötött; mindazonáltal életüket mélyen befolyásolja az előbbi csoport tevékenysége, sőt, nagyon is függnek attól.” (Kaldor, 1998.) A globalizáció kihívásai nyomán megváltozik az integráltság és a kirekesztettség fogalmának a tartalma. A területileg és nyelviileg korlátozottak (s ne feledjük, egy 1996-os Eurobarométer-felmérés szerint Magyarországon az emberek 78%-a nem képes idegen nyelven egy beszélgetést lefolytatni!) kirekesztettnek és fenyegetettnek érezhetik magukat a nyitott gazdaságba beáramló globalizációs folyamatoktól. Ők azok, akiket frusztrál az is, hogy nem igazodnak el a hétköznapi árucikkek idegen nyelvű feliratain, és akik ingerlékenyen reagálnak az anglomán sznobizmus terjedésének minden megnyilvánulására. Ezért a legfogékonyabbak a nacionalista és más kirekesztő tanok iránt. Ismét M. Kaldort idézem: „Úgy tűnhet számukra, hogy ezek az eszmék hozzásegítik őket, hogy visszaszerezzék az életük feletti ellenőrzést, és bűnbakot találhatnak, hogy megmagyarázzák azokat a személytelen változásokat, amelyekkel szemben védtelenek. Menedéket keres-

hetnek a klánhoz, törzshöz vagy etnikumhoz fűződő elsődleges hűségben, vagy egyszerűen a gazdasági körülmények rákényszeríthetik őket arra, hogy csatlakozzanak egy bűnbandához vagy egy paramilitáris csoporthoz, esetleg megérinti őket egy romantikus nacionalista ügy kalandja.” (Kaldor, 1998, 134.) Ennek jelei jól láthatók a hazai politikában és publicisztikában is.

A gáttalan globalizációval szembeni ellenhatások egyik leghatásosabbika a transznacionális ökológiai (zöld) mozgalmak és nemzeti pártok létrejötte – ezek azonban nálunk még igen gyengék és ideológiailag zavarosak. Jelentősek a modernizációval szemben fellépő vallásos mozgalmak is, amelyek politikai hatásukat tekintve gyakran ambivalensek. Nálunk erre főleg a nagy egyházakon kívül álló, szektás vallásosság híveinek szaporodása utal. A meglévő nacionalista tendenciák ellenére a nemzethez mint politikai közösséghez tartozás meghatározó ereje nálunk is halványul. Mozgósító erejű lehet-e még egyáltalán a nemzeti identitás hangsúlyozása a nemzetek feletti integrációk korában? Mit jelent még, az ellenállás milyen erejét jelenti a kulturális és vallási kötődés a modern média kulturális tömegtermelésének áradatával szemben?

Mindezek olyan kérdések, amelyek vizsgálatának a globalizáció várható erősödésére tekintettel a társadalomtudományi kutatás centrumába kellene kerülniük. A fundamentalista ellenmozgalmakkal, egy „új barbárság” terjedésével szemben kereshetjük a megoldást a civil társadalmi kapcsolatok erősödésében is, amelyek transznacionális szervezetekhez és mozgalmakhoz is kapcsolódhatnak. Egy bizonyos: a globalizáció hatásait nem tudjuk sem azáltal kivédeni, hogy elzárkózunk előle, sem pedig azzal, ha naiv gyanútlanysággal a karjába vetjük magunkat, nem reflektálva annak romboló aspektusaira. Ahogy már F. Bacon mondta: a természetet csak törvényeinek engedelmességre uralkodhatunk. És a globalizáció is csaknem olyan, mint egy természeti folyamat – kinek csapás, kinek áldás, és meg kell találnunk a helyes módját annak, hogy a hatásaira oly módon reagáljunk, hogy abból elsősorban nyereségünk származzék. A nemzeti identitás gyengülő kötőerejét figyelembe véve például elveszhetünk abban is, hogy pogány módjára átkozódunk, és csóváljuk az etnikai öntudat buzogányát. Azonban ígéretesebb lenne egy modernebb, kozmopolitább jellegű nemzeti öntudat erősítésén fáradozni, amely nem zárkózik el a globalizálódás kihívásai elől. Nem kell elvetni a nemzeti eszmét mint politikai identitásunk alapját, de olyan demokratikus, nyitott szellemben kellene azt kialakítani, amely nemcsak elhatárolódik a xenofóbiától, hanem jól tolerálja a nemzeten belüli politikai és kulturális megosztottságokat is. Ezzel szemben a nemzeti identitásnak az a gyanakvó és szűkkeblű változata, amelyet ma oly sokan képviselnek, főleg a politikai jobboldalon, nem pusztán elzárkózó és kirekesztő jellegű. Egy átörökölt és folyamatosan kísértő kisebbségi komplexus kifejeződése is, amely éppen ezért nehezen képes megbirkózni a globalizáció kihívásaival. A túltengő nemzeti öntudat éppen a nemzeti

kishitűség jele, amely nem bízik önmagában és a maga kulturális erejében, s épp ezért nem boldogul a globalizáció negatív hatásaival. Erre csak az európai közönségen belül és az európai identitáson keresztül nyílik számunkra termékeny esély.

Irodalom

- Axtmann, R. (ed.): *Globalization and Europe. Theoretical and Empirical Investigations*. London and Washington, Pinter, 1998.
- Badie, Bertrand: *A visszájára forduló világ. A nemzetközi színtér szociológiája*. Aula Kiadó, Budapest, 1998.
- Barber, Benjamin B.: *Jihad versus McWorld. How globalism and Tribalism are Reshaping the World*. New York, Ballantine Books (Random House Inc.), 1996.
- Beck, U. (Hrg.): *Politik der Globalisierung*. Frankfurt am Main, Suhrkamp, 1998.
- Bornschieer, Volker – Chase-Dunn, Christopher (eds.): *The Future of Global Conflict*. London, Sage, 1999.
- Bretherton, Charlotte – Ponton, Geoffrey (eds.): *Global Politics*. Oxford, Cambridge, Blackwell, 1996.
- Brown, Lester R. – Flavin, Christopher–French, Hilary (eds.): *A világ helyzete. A washingtoni Worldwatch Intézet jelentése a fenntartható társadalomhoz vezető folyamatokról*. Budapest, Föld Napja Alapítvány, 1997, 1998.
- Castel, Robert: *A szociális kérdés alakváltozásai*. Kávé Kiadó, Budapest, 1998.
- Castells, Manuel: *The Rise of the Network Society*. Oxford, Blackwell, 1996.
- Crowley, D.–Mitchell, D.: *Communication Theory Today*. Cambridge, Oxford, Polity Press.
- Galtung, Johan: *Die andere Globalisierung. Perspektiven für eine zivilisierte Weltgesellschaft im 21. Jahrhundert*. Münster, Agenda Verlag, 1998.
- Gilpin, Robert: *The Political Economy of International Relations*. Princeton, Princeton University Press, 1987.
- Huntington, S.: *A civilizációk háborúja*. Budapest, 1996.
- Kaldor, Mary: Transznacionális civil társadalom. In *Közép-európai változások*. Szerk. Mészáros Ferenc. Savaria University Press, Szombathely, 1998, 115–138.
- Kennedy, Paul: *A huszonegyedik század küszöbén*. Napvilág Kiadó, Budapest, 1997.
- Kiss J. L.–Urkuti Gy.: Globalizáció – mítosz vagy valóság? *BIGIS közlemények*, 1998, 6.
- Lafontaine, O.–Müller, C.: *Keine Angst vor der Globalisierung. Wohlstand und Arbeit für Alle*. Bonn, Dietz, 1998.
- László Ervin: *Harmadik évezred. Veszélyek és esélyek. A Budapest Klub első jelentése*. Új Paradigma Kiadó, Budapest, 1998.
- Mander, J. – Goldsmith, E. (eds.): *The Case Against the Global Economy – and for a Turn to Local*. San Francisco, Sierra Club Books, 1996.
- Martin, H-P. – Schumann, H.: *A globalizáció csapdája*. Perfekt Kiadó, Budapest, 1998.
- Menzel, U.: *Globalisierung versus Fragmentierung*. Frankfurt am Main, Suhrkamp, 1998.
- Milward, A.: *The European Rescue of the Nation-state*. London, Routledge, 1994.
- Przeworski, Adam: A neoliberális téveszme. *Világosság*, 1993, 12.
- Scott, Alan (ed.): *The Limits of Globalization*. London, New York, Routledge, 1997.
- Thurrow, L.: *Die Zukunft des Kapitalismus*. Düsseldorf, München, Metropolitan, 1996.
- UNHCR Report: *Zur Lage der Flüchtlinge in der Welt. Erzwungene Migration – eine humanitäre Herausforderung*. Bonn, Dietz Verlag, 1997–1998.
- Waters, Malcolm: *Globalization*. London, New York, Routledge, 1995.

CSABA LÁSZLÓ

A magyar közgazdaságtan a világáramban

Bevezető

Robert Solow írja az *Economic Journal* 1999. januári számában, hogy talán egyetlen tudományszak sem foglalkozik annyit önmeghatározásával és önértelmezésével, mint a közgazdaságtan. Ez bizonyára összefügg tudományszakunk kétszázötven évet alig meghaladó, rövid élettörténetével, a célok, az eszközök és a módszerek körét érintő eltérő elvárásokkal, az ok-okozati viszonyok és a mérhető eredmények bemutatását övező bizonytalansággal.

A közgazdaságtan *mainstreamjét* – világáramát – a második világháború utáni fél évszázadban Samuelson nyomán az axiomatizált, matematikai nyelven megfogalmazott és mennyiségi eredményekre törő irányzat jelentette. Ez hazánkban mindig is jelen volt, de mindig kisebbségben.

Az évtizedforduló egyetemi reformjainak hatására az elméleti érdeklődésű hallgatók nagyobb része tanulja már ezt az iskolát, oktatóik nagyobb részét azonban lekötötte az új nyelv megtanulása. Értik, de a nemzetközi piacokon is megjelenő – publikált – új eredményekre továbbra sem sokan képesek. Utóbbiak viszont épp az évtizedek óta e nyelven dolgozók közül kerülnek ki, azaz nem az újonnan megtért vagy az újonnan pályára lépett kollégák írásai dominálnak, hanem Augusztinovics Mária, Bródy András, Simonovits András vagy Zalai Ernő jegyzi a jelentős teljesítményeket.

A világ közgazdaságtana természetesen sokszólamú maradt az elmúlt fél évszázadban is, bármely mérce szerint vizsgáljuk. Ha például a Nobel-díjak szerint tájékozódunk, ami nagyon is indokolt és szokásos, nehéz észre nem vennünk a *par excellence* tudományon kívüli szempontok érvényre jutását. Például önmagáért beszél az a „csodálatos egybeesés”, amikor 1974-ben egyetlen – megosztott – Nobel-díjjal tüntették ki a svéd szocializmus egyik nemzetközi apostolát, Gunnar Myrdalt, s a mindenféle szocializmust az emberiséget legjobban fenyegető eszmerendszernek láttató Friedrich August von Hayeket. De, hogy közelebbi példát hozzunk, Vickery és Mirlees Nobel-díja 1997-ben hogy, hogy nem a tőzsde-

boom csúcsával esett egybe, míg a szegénységkutató Amaryta Sené 1998-ban épp a tömeges nyomort ismét valósággá tevő ázsiai válságot követte.

Tudományelmélet és tudománymetria

Indokolt emellett a közgazdaságtan szokásos, tudománymetriai jellegű vizsgálata is. Nem kétséges ugyanis, hogy formális kitüntetésekben nem részesült szerzők iskolateremtő hatását jól ki lehet mutatni műveik többszöri kiadásával, a rájuk vonatkozó hivatkozások számával és helyével, a művekről szóló ismertetőik számával és megjelenési helyével, vagy akár a különféle nemzetközi lexikonok, évkönyvek és tudományági kézikönyvek lapjain történt megjelenésük gyakoriságával is, meg a nemzetközi tudományos társaságok megjelenítette informális elismerésekkel is. Ha kellően hosszú távra és kellő empátiával végezzük e műveleteket, bizonyára elkerüljük azt a – bírálói által joggal fölhozott – veszélyt, mely szerint érdemtelen szerzőket is fölkaphat a divat vagy épp a tévedések leleplezésének kényszere, ami nem más, mint a tudományos közösség önvédelme. S valóban, az 1970-es évek legtöbbet hivatkozott magyar szerzője Vörös Gyula volt, aki a mechanizmusreform ellen írt filippikájával (Vörös, 1974) szinte „mindenkit” válaszra készítetett. De ez a fajta népszerűség – túlidézettség – ugyanúgy magától múlt el, mint a mindenkori gazdaságpolitikai újítások kiötlőinek és ezek bírálói-nak kérészéletű idézettsége.

A formalizált eljárások áttörését George Stigler és társai (1995) cikkével szokták szemléltetni, akik kimutatták: míg 1962–63-ban a közgazdaságiként jegyzett cikkek 34%-a alkalmazott matematikai módszereket, addig ez az arány 1989/90-re 94%-ra nőtt. A történetnek azonban itt nincs vége: az 1990-es évek második felének vezető lapjait lapozgatva ez az arány 50-60%-ra csökken.

Az 50-60%-os formalizáltsági arány nem azt jelenti, hogy a cikkek felében semmilyen formalizált eljárás nincs, hanem azt, hogy a mennyiségi módszerek többnyire *valamilyen inherens, a módszertanon túlmutató közgazdasági problémát* tárgyalnak. Az *American Economic Review* 1998. decemberi számában például az átalakulás gazdaságtanát is. Olyan mérvadó lapok, mint a svájci *Kyklos* vagy az angol *Economic Journal*, 1999-ben kimondottan a szerkesztőségi politika rangjára emelték a gyakorlati relevancia iránti igényt. A chicagói egyetem lapjában, a *Journal of Political Economy*-ban megjelent cikkében Lee Ohanian (1999) arra vezeti vissza a bukott elméletek gyakori újjászületését tudmányszakunkban, hogy a formalizált közgazdaságtan nem tudott operacionalizálható *gazdaságpolitikai elméletet* kialakítani. A cambridge-i egyetem lapjában megjelent elemzés (Northover, 1999, 51–58.) ismeretelméleti alapon kétségbevonja még azt is, hogy formalizált eljárásokkal egyáltalán lehetséges lenne gyakorlati jelentőségű következtésekre jutni. S bár a magam részéről továbbra is meggyőzőnek látom az idézett

cikkben elmarasztalt Nelson és Winter (1982) törekvését, ami az evolutív és a mennyiségi megközelítés közti szintézist célozza, az idézett kritika jól mutatja, mennyire alaptalan a módszertani kizárólagosság gyakori meghirdetése, azaz divatja.

A formalizált módszerek túlsúlyra jutásával azonban nem ült el a módszertani vita, amelynek tárgya kezdettől fogva az, hogy mennyiben indokolt a természet-, a társadalom- és az élettudományokat egyazon – kvantitatív – módszertan alapján művelni. A vita egyik ága – amit ehelyütt nem tárgyalunk – a kutatási területek belső sajátosságaira hivatkozva követel más-más metodológiát. Ez könnyen belátható, bár ellentétes a tudományt az ógörögök óta jellemző deduktív módszerrel és általánosítási (rendszerkezési), összehasonlítási igényével. Hiszen ha – mint minden ember – minden tudományszak „fennség, Észak-fok, titok, idegenség”, akkor köztük semmilyen kapcsolat nem lehet. Ez pedig ellentmond mind a gyakorlati igénynek – lásd pszichoszomatikus betegségek –, mind a tudomány szervezésben sokszorosan (és voltaképp a középkor óta) igazolt *interdiszciplináris szinergia* tapasztalatának, ami az egyetemeket, a kutatóközpontokat és a technológiaparkokat létrehozta.

A közgazdaságtanon belül maradvá egy reprezentatív kötet (Van Bergijk – Bovenberg – Van Damme, szerk., 1997) jól szemlélteti a lehetséges álláspontokat. Az egyik irányzat szerint – e kötetben E. Malinvaud és A. Jacquemin – azt hangsúlyozza, hogy csak az önálló elméleti kutatás vezet eredményre, amiből azonban nem vezet egyenes út a gyakorlati tanácsadás felé. A gyakorlat egyre összetettebb, az elmélet egyre specializáltabb és elvontabb, így legfőképpen utólag tud (ha akar) válaszolni a gyakorlat igényére; a mellékhatásokra azonban sokszor eleve nem is lehet tekintettel (absztrakciós szintje miatt). A másik irányzat – e kötetben Bruno Frey és Barry Eichengreen – a közgazdaságtant a Nap és sugarai közi különös szerkezetű képződményként írja le. Itt van egy bizonyos közös alap, amiből egymáshoz nem kötődő, egymásra nem reflektáló sugárirányban szétartó irányzatok fejlődnek, a maguk útját követve. Végül a harmadik irányzat képviselői – e kötetben a Nobel-díjas Robert Solow és az angol Királyi Közgazdasági Társaság amerikai származású főtitkára, Richard Portes – azt emelik ki, hogy az elmélet által kialakított szemléleti keret és eszköztár az egyetlen iránytű 180 nemzetgazdaság és számtalan részletkérdés rendszerezett áttekintéséhez, ahhoz, hogy ne kelljen mindig újra föltalálni a meleg vizet. Szerintük ezekből az elméleti felismerésekből viszonylag közvetlenül adódhatnak gazdaságpolitikai, szemléleti és módszertani ajánlások, sőt hasznos útmutatás más alapon nem is adható.

Bármely iskolához tartozzék is valaki – s hazai szerzők közül is lehet sorolni példákat –, fennmarad a kérdés: mire valók a tudományos modellek, igaz-e az, hogy – mint Northover (1999, 57.) fogalmazza – a formalizált eljárások csak a kifejtés esztétikumát szolgálhatják, tartalmi ismereteket nem közvetíthetnek?

Ez valószínűleg szélsőséges vélekedés, hisz szinte nincs olyan közgazdasági kategória és feladat, ahol ne a mennyiségi kérdések lennének perdöntőek. Sok esetben a kijelentések valóságértékét, de a felvetések és a magyarázatok jelentőségét is épp a kvantitatív összefüggések döntenek el. Ha egyetlen példa sincs arra, hogy egy átalakuló ország stabilizáció nélkül növekedési pályára állhatott volna, vagy hogy a privatizáció megelőzhette és megalapozhatta volna a stabilizációt, az említett felvetéseket a mai ismeretszint mellett a megdőlték közé kell sorolni. A jövőben sem kell újraértékelésükkel próbálkoznunk addig, amíg a mai ismeretszintet/paradigmát át nem értékelik, épp azért, mert az ellenkező tételek mellett meggyőző mennyiségi bizonyítékok szólnak.

A formalizált módszerek mellett szól az, hogy általuk a természettudományokban szokásos *prediktív* megállapítások és *ellenőrizhető* megállapítások tehetők. E tekintetben újabb elemzések ismételten kimutattak (legutóbb Reder, 1998), hogy a közgazdaságtan követelményeinek egyre kifinomultabb eszköztára ellenére sem tudott maradéktalanul megfelelni. Ha a Nobel-díjasok által is vezetett LTCM befektetési alap 1998. szeptemberi csődjére gondolunk, akkor ez nem is olyan meglepő.

Más elemzők (Rappaport, 1998) ugyanis joggal vetik fel, hogy egyáltalán feltétlen tudományossági kritériumnak tekinthető-e a predikcióra való készség (a történettudománytól az antropológiáig terjedő körben bizonyára nem). Az is vita tárgya, hogy mennyiben indokolt elfogadni Milton Friedman szubjektív idealista felfogását, ami eleve *csak a konzisztencia* szempontjából hagy teret a vizsgálódásnak, vagy lehet-e ragaszkodni az egyszerűsített modellek tesztelhetőségéhez. Persze az alkalmazás és a magyarázat ez utóbbi esetben is két külön terület marad.

A számomra legmeggyőzőbb álláspontot az *Economic Journal* egyik szerkesztője, Roger Backhouse (1997) fogalmazta meg. Könyvében egyfelől kétfrontos harcot folytat a *kizárólag* kiszámítható, formalizálható eljárásokat pártoló – és a fejlett országok elméleti tanszékein egyeduralkodó – fő áramlattal szemben, másfelől a tudományt *puszta diskurzus*á lefokozó McCloskey–Hahn-féle hermeneutikai irányzat ellen is. Empirikus visszacsatolás híján semmit sem tudunk az egyes elméletek *relevanciájáról*. Formalizált eljárásokkal *időnként* lényeges felismerésre jutottak, például fenntarthatósági kérdésekben.

Másfelől az sem biztos, hogy az a releváns, ami kiszámítható. Még inkább kétséges, hogy az a legújabb és a legfontosabb, amire már mások amúgy is adatokat gyűjtenek. Nagy a veszély tehát, hogy a számítás technikai igénye vagy az éppen hozzáférhető – előállítható – adatbázis határozza meg az elemzés tárgyát és végeredményét egyaránt.

A tökéletes előrelátás és az információ központi feldolgozhatóságának korlátait már Adam Smith és Friedrich Hayek is helyesen mérte fel, a „tervezgazdaság” összeomlása pedig gyakorlatilag igazolta. Ennek ellenére – húzza alá Backhouse

– ahol lehet, törekedni kell a minőségi jellegű kijelentések *kvantitatív kontrolljára*, ha nem is biztos, hogy innen tudható, mit miért tesznek, és miképp. Ez pedig – a már idézett Nelson és Winter (1982) terminológiájában – a megértő és a formális elmélet *szintézisének igényét* jelenti, még akkor is, ha ez nem eleve és nem mindenkor adott, sőt nem is mindig lehetséges.

A módszertani vita¹ fontos leágazása a tiszta elméleti és a gyakorlati irányultság aránya és iránya. Mint láttuk, az 1970–80-as évek a formalizált eljárások és az elvont közgazdaságtan áttörését hozták a publikációs termésben és az akadémiai-egyetemi előmenetekben egyaránt.

A relevancia, a gyakorlati alkalmazások iránti igény azonban a „matematizáló” korszakban sem veszett ki a közgazdászszakmából. Ezt mindennél jobban mutatja az angol közgazdasági társaság lapjában megjelent (1999. febr., F186. o.) impaktfaktor szerinti elemzés. Eszerint a messze legtöbbet idézett folyóirat a *Journal of Economic Literature*, amely lényegénél fogva egyfajta hídverő szerepre vállalkozott. Az egyes részművek legjobb művelői írnak egy-egy területről, „bárki” számára hozzáférhetően. Például itt írt Assar Lindbeck (1996) a svéd modellről, Anne Krueger (1998) az IMF és a Világbank időszerűtlenségéről, s Kornai János (1986) a magyar modellről. Tanulságos lenne megvizsgálni, hogy a hazai folyóiratokban mekkora ennek a lapnak az idézettsége, vagy hogy tananyagokban milyen mértékben hasznosul (akár közvetve, hivatkozások formájában).

A 4,8-as impakt faktorú JEL után a formalizált elemzések fellegvára, az *Econometrica* következik, 3,2-vel. Az ezt követő két tucat legidézettebb folyóiratban olyanok szerepelnek, mint a *Journal of Economic Perspectives*, ami létrehozása óta eleve gyakorlati irányultságú, a *Journal of Accountancy Economics*, a gazdaságpolitikai fórumként ismert *Brookings Papers on Economic Activity*, az *Economic Geography*, a *Journal of Environmental Economic Management* vagy a klasszikus szovjetológiai cikket közlő *Post-Soviet Affairs*. Megjegyzendő, hogy a vezető 30 lapban nem szerepel a több hazai kritikiai elemzésben is sarokpontnak tekintett *European Economic Review*, az *International Economic Review* és a *Scandinavian Journal of Economics*, amelyek absztrakt elméleti munkákat közölnek legnagyobbreszt.

Ezzel szemben az európai mércének számító, hagyományosan vezető *Economic Journal* külön foglalkozott olyasféle témákkal, mint a kísérleti közgazdaságtan, a minimálbér hatása, a válás közgazdasági problémái vagy a számítógépes kereskedelem közgazdaságtana. A magyar közgazdaságtant tehát alaptalanul éri – például a Budapesti Közgazdaság-tudományi Egyetem némely hangadó oktatója és több fiatal elemző részéről – az a vád, mely szerint fő baja az lenne, hogy nem eléggé elméleti/elvont kérdéseket taglal. A piac tényszerű felmérése szerint ha

1 Kimerítöen I. az *Economic Journal* 108. évf. 451. számában (1998. nov.) 1826–1869. o. a jellemző – megoszlott – álláspontokat.

van bíráltnivaló, az inkább az, hogy amit művelünk, az ma már nincs nagyobb mértékben jelen ezen az élvonalbeli piacon, mint az ország a világkereskedelemben – a 30 vezető lapra vonatkozó felmérés szerint 0,84%-ban. A megfelelő lengyel adat – lakosságszám-arányosan – 3% (az idézett felmérés szerint).²

A magyar közgazdaságtan megváltozott helyzetét mi sem mutatja szemléletesebben, mint a *megváltozott publikációs gyakorlat*. Míg korábban – a terület politika-függősége és a kiterjedt formális és informális cenzúrázás hatására – általánosnak volt mondható az az eljárás, hogy előbb a hazai piacon „mérettettek meg” a szerzők, majd műveiket idegen nyelven is megjelentették, lefordítottatták, mára a helyzet megváltozott. Ahogy a List Frigyes–Kossuth Lajos-féle hagyományra rációfolva az elmúlt negyedszázadban a kifelé forduló, eleve a világpiacra termelő vállalatok és nemzetgazdaságok bizonyultak sikeresnek, úgy mára a kutatásban is ez vált meghatározóvá. Mi több: a túlélés feltételévé.

Az 1980-as évek eleje óta erősödő intézményes alulfinanszírozásra a tudományos közösség kétféleképp válaszolt. Elsősorban a fiatalabbak – a helyzetet reménytelennek látva – a tartós külföldi munkavállalást választották. A metropolisban megszerzett képességeiket ott is kamatoztatják. Az 1990-es évtizedben ez – a PhD-generáció számára megnyílt külföldi képzés révén – tömeges exodusra vezetett. A visszatértek túlnyomó része a nyugati egyetem formális követelményeinek teljesítése nélkül jött haza, hisz annak az itthoni viszonyok közt, a hazai terepen nem lett volna többlethozama. Jelentős, gazdasággal vagy azzal is foglalkozó, befutott szerzők részben vagy egészében külföldre mentek (menekültek).

Az alkotók másik része – főképp a középgeneráció és az idősebbek – *nemzetközi kapcsolataik aktivizálásával* védtek ki az alulfinanszírozás hatását. Ennek már a '80-as évek eleje óta természetes követelménye az, hogy a kutatási eredményt publikálják, lehetőleg először világnyelven (gyakorlatilag angolul). A rendszerváltozás óta elsősorban az Európai Unió programjai, de más nemzetközi szervezetek, alapítványok, egyetem- és intézetközi együttműködési megállapodások jártak publikációs kényszerrel. Ez az – időnként koloniális elemeket sem nélkülöző (Csepeli – Örkény – Scheppele, 1998) – új munkamegosztás és kényszer egyfelől erőteljesen megnövelte a kínálatot. Másfelől – már csak a nagy számok törvénye és a nyugati minőségbiztosítási követelmények miatt is – a magyar közgazdaságtan korábban *soha nem látott mértékben* lépett ki a tudomány világpiacára. Ez mind a szerzők körét, mind a külföldi megjelenések számát tekintve egyértelműen dokumentálható.

Ha a tudományos eredményeket nem szűkítjük le – az amerikai divatáramlatot követve – a folyóiratcikkekre, hanem elfogadjuk azt a régóta ismert és ma is do-

2 Figyelem! Ez nem a teljes tudományos világpiac, hanem az elméleti lapok krémje; a hivatkozási arányok sem abszolútumok, hanem erre a körre vonatkoznak.

kumentálható tény, hogy a *könyvek* élettartama inkább egy évtized, míg a cikkeké egy-két év, a *helyzet lényegesen jobb, mint a fenti impakt faktoros vizsgálat alapján*.

Az ország fokozatos gazdasági és kulturális nyitása a *lehetőséget*, a pénztelenség a *kényszert* teremtette meg a világgpiacra lépéshez. Ezt a folyamatot mennyiségi és minőségi értelemben egyaránt figyelemre méltónak mondhatjuk, a közélet egy részében szokásossá vált lekicsinylésére nincs reális alap.

Mint a kelet-európai országoknak a közgazdaságtan második világháború utáni fejlődésében játszott szerepét bemutató összehasonlító projekt vizsgálataiból kitűnt,³ a magyar közgazdászok – részint⁴ a külföldön élők révén – *folyamatosan jelen voltak a világ szellemi vérkeringésében*, mégpedig az ideológiai kényszerzubbony ellenében is. Ez a sorstárs országokénál lényegesen nagyobb mértékű volt egészen a rendszerváltozásig.

Az elmúlt fél évszázadot hazánkban a főirány és a hozzákötődő, módszertanilag igényes elemzések viszonylag kis súlya, ugyanakkor a gazdasági intézményeket, a világgazdasági folyamatokat és a vállalati gyakorlatot elemző, szociografikus irányzatok erőssége jellemezte. Ezért hazánkban a módszertani vita jelenleg *ellenkező előjellel folyik ugyanazon tartalmakról és eljárásokról*, mint a világáramban. A hazai szerzők közül Kornai János munkássága váltotta ki a legnagyobb – mérhető – hatást olyan értelemben is, hogy a fő áram folyóiratai, kiadói és művelői folytonosan reflektálnak a rendszerváltozás fölvetette, elméleti értelmezésre szoruló vagy azt lehetővé tevő kérdésekre, használják az általa kialakított fogalmakat és elemzési eredményeket saját munkájukban.

Mennyiségi értelemben a világgpiacra lépés azt jelenti, hogy *korábban* – így a két háború között vagy épp az első világháború előtti aranykorban – *sosem látott létszámban* jelennek meg magyar szerzők a tudomány *világgpiacán*. A világ vezető kiadóinak katalógusait böngészve vagy a nagy nemzetközi közgazdasági folyóiratok ismertetőit tanulmányozva manapság szinte nem is lehet olyan példányt kézbe venni, ahol kötet szerzőként vagy épp recenzensként ne szerepelne honfitársunk. A *realitásokat* – azaz az országméretet, a finanszírozást, a hasonló nagyságú és fejlettségű versenytárs országok teljesítményét, a nem amerikaiak belépési korlátait, a szabad kutatások számára adott idő viszonylagos rövidegét, a nemzetközileg kompatibilisen képzett korosztályok beérési időszükségletét – *figyelembe véve ez nem csekély eredmény*.

S ha csak nem szegődünk – neológ buzgalommal – a bevezető közgazdasági kurzusok szűk elméletfelfogásának rabjává, azon sem kell szégyenkeznünk, hogy honfitársaink gyakrabban jelennek meg azokon a részpiacokon, *ahol amúgy is*

3 A magyar teljesítményekre vonatkozó elemzés és dokumentáció magyar nyelven külön kismonográfiában vált hozzáférhetővé (Szamuely–Csaba, 1998); feltutacnyi recenzio jelzi az általa kiváltott visszhangot (a *Népszavadtól a Magyar Tudományig* terjedő körben).

4 1947–57 között ez kizárólagos jellel volt így.

hosszabb ideje kutatnak: a rendszerváltozás gazdaságtana, az ágazati gazdaságtanok és a vállalat-gazdaságtan piacán. Hiszen a *mainstream-konform elmélet* a hazai tudományos termésnek sem épp a meghatározó többsége. A tudományos tőkefelhalmozás jellegét figyelembe vevő piacra lépési stratégia helyes, mi több, ez az egyedül lehetséges.

Ugyanakkor az elmondottakat nem indokolt úgy lefordítani, hogy a magyar közgazdászok a nekik meghagyott piaci réseken a tisztességes középért próbálják meg elérni. Ha a *Festschrift* jelez valamint – például, hogy egy tucat tudós társát ünnepli, hogy találnak kiadót, hogy betartják a határidőt, hogy itt egyfajta belső szelekció elkerülhetetlenül végbemegy –, akkor bizony a magyar közgazdászok tiszteletére született gyűjteményes köteteket nem a műfaj szabta korlát mellőzésével, az impakt faktorial, hanem az ott megjelenést vállalók teljesítményével értékeljük. A közelmúltban két kollégánk, Kornai János és Bródy András tiszteletére is jelent meg *Festschrift*, nemzetközi kiadóknál (Maskin – Simonovits, szerk., 1999) és (Zalai – Simonovits, szerk., 1997). Hasonló elismerésben – a maga módján ugyancsak a kor színvonalát megjelenítő – Heller Farkas és Navratil Ákos ismereteim szerint nem részesülhetett.

A rendszerváltozás ellentmondásos hatása

Ez az egybevetés a magyar közgazdaságtan további *sajátosságára* hívja föl a figyelmet. Ha a korábbi időszaknak az volt a jellemző képlete, hogy a nemzetközileg sikeres és elismert közgazdásznak *feltétlenül és tartósan el kellett hagynia az országot*, akkor ez mára már *nem feltétlen* van így. A korábbi időszakban az oly eltérő szellemiségű közgazdák, mint Káldor Miklós és Balogh Tamás egyfelől és Bauer Péter meg Balassa Béla másfelől, de Scitovsky Tibor vagy Lámfalussy Sándor is csak az országtól elszakadva és más szellemi közeg integráns részévé válva tudott befolyásra és szakmai elismertségre szert tenni. Ezzel szemben manapság Kornai, Bródy, Augusztinovics vagy más kollégánk ismertsége, megjelentetése, meghívása, idézettsége, elfogadottsága egyáltalán nem függ attól, hogy épp itthon alkotnak-e vagy külföldön.

Persze a tűz közelében lenni ma sem hátrány, akár nemzetközi szervezetekről, akár nagy egyetemekről van szó, de a korábbi időszak jellemző dezintegráltsága megszűnőben van. Ez a *hazai és a nemzetközi mércék közeledését is eredményezi*, már csak azért is, mert itthon a világpiacra írt művek jelennek meg. A gondot sokszor épp az jelenti, hogy a dupla munkához nincs se pénz, se energia, se – a közélet érdeklődése által táplált – késztetés.

Ennek a helyzetnek, valamint az egyetemi szintű képzés kiterjesztésének velejárója az *oktatói-kutatói mezőny kettészakadása*, amit a közkönyvtárak elrettentő állapota és egyre reménytelenebbé váló helyzete csak súlyosbít. Kevesen tudják azt,

hogy ma már a közgazdasági diplomák tizede származik a Budapesti Közgazdaság-tudományi Egyetemről, így az intézmény állítólagos elitizmusát leleplező és felpanaszoló írásművek jórészt célt tévesztenek. A legnagyobb közgazdászképző ma a gödöllői Szent István Egyetem.

Ha a főiskolai szintű közgazdasági képzést és a nagyszámú másoddiplomást is figyelembe vesszük – ez ugyancsak kiterjedt kör –, a helyzet még határozottabb kontúrokat ölt. A jórészt az egykori „polgárd” tanszékekre épült és üzleti gyors-talpalókkal kiegészített „gyakorlati képzés”, valamint az eredendően más profilú egyetemeket fölhabosító közgazdászképzés a teljesen jogos demokratikus és munkapiaci igényeknek felel meg.

Ugyanakkor a nemzetközileg *versenyképes* közgazdasági egyetemi szintű képzés *alapfeltételei* is gyakorta hiányoznak, értve ezen a könyvtárak által beszerzett – és különösen az oktatók és a hallgatók által valóban forgatott – szakirodalmat. Az egyre *szélesebb* nemzetközi kínálat egyre *szűkösebb*, egyre többször és rosszul megszűrt *választékszelete jut el* az új intézményekbe. A standardizálás jogos igénye, a nagy létszámú évfolyamok vizsgáztathatósága a más-más szerző által jegyzett, de tartalmilag mégis egyentankönyvek uralmához vezet. Az önálló irodalomfeldolgozás az oktatóknál sem követelmény. Ezt mutatja az új – főleg a vidéki – intézmények statisztikailag nehezen érzékelhető jelenléte a hazai és még inkább a nemzetközi tudományos piacon. A saját kiadású jegyzeteket szokás szerint mellőzve, különösen szembeötlő ez a szakadék.

Ezzel bizony akarva-akaratlanul a periféria-országokból jól ismert *duális struktúrákhoz* jutottunk. A tananyagokban a csereszabotosság miatt elkerülhetetlenül „ugyanazt” tanítják. A nagy létszámok mellett az oktató ha akarna, sem kutathat, főleg ha három állásból tudja csak családját eltartani. Így pedig az elemzés első részében bemutatott *csúcsteljesítmények*, bár a világon mindenki számára elérhető, a valóságban a *közgazdász-társadalom számára az országon belül egyre kevésbé jelenhetnek meg* – gyakorlati értelemben.

A 20. század egyik tanulsága bizonyára az, hogy magyar viszonyok között nincs okunk kételkedni a neoklasszikus elmélet azon tézisében, mely szerint a *hosszú távú, endogén növekedést a humántőkébe történő befektetés határozza meg*. Az első világháború előtti fél évszázadban a közoktatás kiterjesztése, a két háború közt a közép- és felsőoktatás – ideológikus okokból kiemelt – fejlesztése bizonyította, hogy az effajta ráfordításoknak akkor is van gazdasági és tudományos hozadéku, ha az negyedéves időtávlatban nem érzékelhető.

Ezzel szemben az elmúlt 15–20 év tudományos eredményei a 21. században már *megismételhetetlen*, egyszeri tényezőkre épültek. Ezek közül a kulturális és gazdasági liberalizálás és a *korábbi időszakban fölhalmozott szellemi tőke értékesítése* (felélése) volt meghatározó. Szabad országban nem lehet még egyszer liberalizálni. A téves elosztás megszüntetéséből és a torzulások kiküszöböléséből sem szabadul fel tartalék.

Aggasztó és intő jel az, hogy az elmúlt két évtizedben *nem történt meg a tudományos utánpótlás újratermelése*. Az elismert szerzők egy része pályát váltott, más részük befutotta a maga karrierjét, de mögöttük nemigen látható az oroszlámkörmeit mutató új tudósnemzedék. A külföldre és a gyakorlatba áramlás kiélezte az utánpótlás régóta megoldatlan szerkezeti és ösztönzési kérdéseit. A PhD-képzés – mint az MTA Közgazdaság-tudományi Bizottságának jelentése (1999) bemutatta – több ok miatt nem váltotta be azt a reményt, hogy a rendszerebb forma révén termelődik ki az új élcsapat.

A tudomány szempontjából bizonyára aggasztó az, hogy ahol még folyik hazánkban a közgazdasági kutatás, az kimondottan más érdekű, profilú, irányultságú intézmények részlegein vagy rövid távú, egyszeri projektfinanszírozás keretében történik. Így sem a kutatás szabadsága, öntörvényűsége, sem kellően hosszú ideig történő, stabil folytathatósága nincs biztosítva. *Alapkutatás híján nincs mit alkalmazni*; elméleti lépéstartás nélkül pedig csak a régi termékek, régi eljárások reprodukciójára futja. Ez – mint ahogy minden mérnök, számítástechnikus és színigazgató tudja – a lemaradás és az önfelszámolás biztos útja, előrejelzésének kockázata nulla.

A 21. század kihívása és a kínálati oldalú közgazdaságtan

A 21. század kihívása tehát a magyar közgazdaságtant a következő feszültségteremben éri. Egyfelől már jelen van a világpiacon, ahol – helyállása következtében – szellemi és anyagi ösztönzések érik az új és jobb eredmények létrehozására. Másfelől utánpótlása egy olyan oktatási rendszerből érkezik, ami létrehozta már az angolszász országok mezítlábas – red brick – egyetemeit, de „elfelejtette” – netán költségvetési érdekből megtakarította – az elit egyetemeket. Márpedig ezekről az elemzés elején többször idézett impakt faktoros felmérés szerint (Hodgson – Rothman, 1999) *a közgazdaság-tudományi cikkek nem kevesebb, mint kétharmada származik*. Ez nem több, mint 40, főleg amerikai egyetem, ahol az egyetemi vezetés sikermutatója nem a diáklétszám. A világbanki intelmek és a minisztériumi kényelem ellenében ezek gyakorta kicsi, a doktori szinten bizonyára *nem tömegtermelő* intézmények.

Magyarországon az ezredfordulón nincsenek és – a mai pénzügyi és oktatásfejlesztési feltételek mellett – *nem is lehetnek ilyen állami intézmények*. Azaz: miközben az ajtók kinyíltak, a kereslet immár adott lenne, a kínálat egyszerűen nem tud létrejönni.

Talán nem nagyon doktriner tehát az a fölvetés, hogy a magyar közgazdaságtan jövőjét is a kínálati oldal megközelítés tudná kiteljesíteni. A humán tőke szerepének felismerése létrehozhatná azokat az intézményeket, amelyek révén a kínálat a tudományos életben is alkalmazkodhatna. Ezek az intézmények a törté-

nelem során még sosem voltak önfenntartók. Mindig állami kezdeményezés és alapfinanszírozás kellett a megindításához, bár *utóbb* a mecénások, adományozók és maga az üzleti élet is szívesen áldoz e célra (feltéve, hogy az adózás érdekelté, és nem ellenérdekeltté teszi benne). A megtérülés sem az üzleti életben szokásos időtartamok és feltételek közt értendő: Freiburg, az ENA, Cambridge vagy Princeton nem néhány hónap alatt és nem is főképp pénzügyi befektetésként „térültek meg”. Szomorú bizonyítványt állít ki a rendszerváltozás időszakáról, hogy e rég ismert tételeket az egymást követő kormányok csak hangoztatják, de nem művelik. A gyakorlatot a rövid távú politika, társadalmi és pénzügyi kényszerek szolgái követése meg a távlattalanságba való beletörődés jellemzi (ami a pénzelosztásban megnyilvánuló valós prioritásokat jelenti). A pusztító következmények könnyen előrejelezhetők, de *nehezen orvosolhatók* (ami a könyvtárügyben a legszembetűnőbb).

Ha a döntéshozatal érvényesítené e felismeréseket, akkor *nem kellene elveszíteni a rendszerváltozás éveinek azt a ritka vívmányát*, hogy a nemzetközileg elismert és sikeres, de a hazájában élő közgazdász kategóriája legalább részben továbbra is egybeeshetne.

A nemzetköziesedés egyenetlen lehetőségeket teremt: míg a formalizált eljárások és a világgazdasági kérdések művelői közvetlenebbül, a nemzeti tudományok határterületein működők – a korábbiakhoz hasonló módon és mértékben – élhetnek a nemzetközi együttműködés adta lehetőségekkel. Ez utóbbi már a 90-es évtized során is sokszor az egyetlen kitörési pontnak bizonyult. Ha nem is bízunk benne, legalább reméljük, hogy a 21. században már nem így lesz.

Irodalom

- Backhouse, R. E.: *Truth and progress in economic knowledge*. Aldershot (Anglia) – Lyme, New Hampshire (USA), E. Elgar, 1997, 232.
- Bergijk, P. van – Bovenberg, L. – Damme, E. van, szerk.: *Economic science and practice: the role of academic economists and policymakers*. Cheltenham, E. Elgar, 1997, 214.
- Csepeli György – Örkény Antal – Scheppele, K. L.: A kelet-európai társadalomtudomány szerzett immunhiányos betegsége. *Közgazdasági Szemle*, 1998, 45. évf. 3. sz.
- Hodgeson, G. – Rothman, H.: The editors and authors of economics journals: a case of institutional oligopoly? *The Economic Journal*, 1999, 109. évf. 453. sz. (márc.) F. 165–186.
- Kornai, J.: The Hungarian economic reforms: visions, hopes and the reality. *The Journal of Economic Literature*, 1986, 21. évf. 2. sz. – magyarul: *Gazdaság*, 20. évf. 2. és 3. sz.
- Krueger, A.: Wither the IMF and the World Bank? *The Journal of Economic Literature*, 1998, 33. évf. 4. sz.
- Lindbeck, A.: The Swedish experiment. *The Journal of Economic Literature*, 1996, 31. évf. 3. sz. – magyarul: *Külgazdaság*, 42. évf. 9., 10. és 11. sz.
- Maskin, F. – Simonovits, A.: *Planning, Prices and Shortage*. *The Kornai Festschrift*. Basingstoke, MacMillan, 1999.
- MTA Közgazdaság-tudományi Bizottsága: *A magyar közgazdaságtan a rendszerváltozás után*. Budapest, 1999, május (sokszorosítás).
- Nelson, R. – Winter, S.: *An evolutionary theory of economic change*. Cambridge (Mass); Harvard University Press, 1982.

- Northover, P.: Evolutionary growth and forms of realism. *Cambridge Journal of Economics*, 1999, 23. évf. 1. sz. 33–63.
- Ohanian, L.: The defining moment. *The Journal of Political Economy*, 1999, 107. évf. 1. sz. 178–185.
- Rappaport, S.: *Models and reality in economics*. Cheltenham (Anglia) – Lyme, New Hampshire (USA), E. Elgar, 1998, 223.
- Reder, M. W.: *Economics. The culture of a controversial science*. Chicago, University of Chicago Press, 1998.
- Simonovits, A. – Zalai, E., szerk.: *Modelling and the Long-term Cycle. Festschrift for A. Bródy*. Dordrecht, Kluwer, 1997.
- Stigler, G. – Stigler, S. – Friedland, C.: The journals of economics. *The Journal of Political Economy*, 1995, 105. évf. 2. sz. 331–359.
- Szamuely L. – Csaba L.: *Rendszerváltozás a közgazdaságtanban – közgazdaságtan a rendszerváltozásban*. Közgazdasági Szemle Alapítvány, Budapest, 1998, 185.
- Vörös Gyula: A szocializmus politikai gazdaságtanának néhány problémája Marx *Grundrisse*-je nyomán. *Közgazdasági Szemle*, 1974, 30. évf. (7–8. szám).

Decentralizáció és regionalizmus a 20. századi Európában

1. A globalizáció térformáló hatása

A 20. század utolsó harmadában az európai regionális fejlődésre már a *globalizáció* nyomta rá bélyegét. A gazdaság szervezeti rendszerében a posztfordista struktúrák kerültek túlsúlyba, a termelési tényezők mobilitásának alakításában új szereplők, intézmények és finanszírozási formák jelentek meg. A globalizáció generálta folyamatok többsége erőteljes hatást gyakorolt a nemzetgazdasági és az interregionális terek átrendeződésére. A területi fejlődés jövője szempontjából különösképpen hét hatótényező szerepére érdemes figyelemmel lenni (Amin–Thrift, 1994, 1995).

Az első globalizációs trend a pénzpiacok növekvő koncentrációja révén rajzoldódik ki. A termelést is maga alá gyűrő pénzügyi hatalom egyre erőteljesebben vonja befolyási körébe a világgazdaság szabályozását, az üzleti döntéseket.

A második világméretű változás a tudásigényes rendszerek térhódításában érzékelhető. A tudás termelése, elosztása és cseréje a gazdaság kulcselemévé válik, e feltételek megléte alapján szelektálódnak a globális és a transznacionális piaci szereplők.

A tudásfaktorhoz is szorosan kapcsolódó harmadik globalizációs tényező a technológia transznacionalizálódása, a technológiák gyors cserélődése, az innovációs reakcióidő csökkenése. A telekommunikáció, az új technika és a gyógyszeripar, a pénzügyi szolgáltatások és a mikroelektronikai eszközök fejlődése gyorsabbá teszi a szabványok és a know-how elterjedését.

A negyedik globalizációs erőtényező a globális oligopóliumok terjedése, aminek következtében a nemzeti gazdaságok piacbefolyásoló szerepe mérséklődik, a gazdasági hatalom erővonalai átrendeződnek.

A gazdasági és a pénzügyi reálfolyamatokkal párhuzamosan kibontakozó ötödik elem a transznacionális gazdasági diplomácia megerősödése és a globalizálódó államhatalom intézményeinek fejlődése. A vezető világhatalmak az új intézményi formákat saját pozícióik erősítésére használják fel, bár a szervezetek működésének szabályozása ugyanakkor gátat is igyekszik szabni e törekvések-

nek. A nemzetközi szervezetekben e két erőter közötti küzdelem gyakran az instabilitás érzetét kelti.

Az intenzív globális kommunikációval és nemzetközi migrációval hozható összefüggésbe a hatodik globalizációs tényező, a világméretű kulturális csere, a meghatározott térhez nem köthető kulturális jegyek, fogalmak és identitás terjedése és általánossá válása. Az intenzív forgalmú idegenforgalmi helyek, a vendégmunkásokat foglalkoztató városok, a menekülteket befogadó térségek lassan etnikai tájjá formálódnak. Az elektronikus média által továbbított általános és közös emberi értékek, a fogyasztói kultusz, a nemzetietlenített etnikai motívumok révén kialakulóban vannak a médiatájak. Az állam és a helyi közösségek igényeit legitimálni szándékozó mozgalmak, a szabadság, a demokrácia, a szuverenitás, az emberi jogok és a polgárság eszméje pedig a posztmodern ideológiai táj képét vetíti előre (King, 1991; Smith, 1990). Mindezek a folyamatok önmagukban természetesen nem okoznak kulturális homogenizációt, csupán – bár ez sem jelentéktelen hatás – a helyi kultúrák sokszínűségét fokozzák. S végezetül, az előbb említett hatások közös eredményeként, a globalizáció fokozatosan kikezdi a korábbi erős határokat, az áramlási terek adminisztratív méretei rugalmassá válnak, a termelési és a szolgáltatási hálózatok világméreteken szabadon szerveződhetnek.

A globalizációs folyamatok hatásaira az egyes régiók és városok különbözőképpen reagálnak, adottságaik és az alkalmazott stratégiák függvényében nyertesek vagy vesztesek lesznek. A negatív következményeket elkerülendő, a helyi és a regionális hatóságok érdekeik védelmére intézkedések egész sorát foganatosították. Az alkalmazkodási stratégiák ugyanakkor az egybeolvadás ellenében az elkülönülést erősítik. Ezt szolgálják például a megélénkülő regionális kulturális mozgalmak és a világ szinte minden pontján egyre eredményesebben fellépő etnikai szervezetek. Kérdés persze, hogy az identitást favorizáló regionális stratégia alkalmas-e a régió nemzeti vagy nemzetközi pozíciójának a védelmére, elegendő fejlesztőerőt jelent-e a régió teljesítőképességének növelésében. A válasz nyilván attól függ, hogy a világ mely térségének milyen régiójáról van szó. A fordista típusú ipari központok, a vidéki regionális centrumok vagy a globális metropoliszok lényegesen eltérő feltételekkel rendelkeznek a hagyományosan értelmezett reakcióképesség szempontjából. A klasszikus termelési tényezők minősége azonban csak az egyik előfeltétele az alkalmazkodásnak. A másik – a hálózatos gazdaság működéséből következő új – adaptációs kritérium a régió vagy a város szervezetei és intézményei közötti kapcsolatok jellege, a közös célkitűzés intézményesülésének lehetősége, a helyi ösztönzők, a kollektív döntések előkészítése, a társadalmi konszenzus. Ez az új versenyképességi tényezőcsoport tehát azt jelzi, hogy a helyi és a regionális fejlődés sikere már nem csupán szűk gazdasági szempontokon múlik, hanem a területi növekedésben érdekelt szereplők szoros koalíciójától, intézményes együttműködésétől is függ.

A posztmodern típusú térfelfogás terjedésének következménye az új területfejlesztési paradigma fokozatos térhódítása. A belső erőforrásokra támaszkodó, az önerőre is építő, a perifériákról kiinduló fejlesztési felfogás lassan polgárjogot nyer a fejlettebb térségek stratégiáiban, sőt egyre több állam központi regionális politikája is az „alulról építkezés” elvét tekinti egyik kiindulópontjának (Faragó, 1991).

A globalizálódás folyamatos lendületben tartja, sőt esetenként fel is gyorsítja a posztmodern gazdaság szerkezeti átrendeződésének mozgástendenciáit. Az 1980-as évtizedben megalapozott gazdasági paradigma kiteljesedése Európában az új évezred első évtizedeiben várható, a posztfordista térformáló erők is hosszú ideig éreztetik még hatásukat. Az agglomerációs előnyöket érvényesítő, fejlett szolgáltatások bővülése prognosztizálható, és országoként eltérő ütemben tovább folytatódik e tevékenységek decentralizációja. A terjedés sebessége nem kismértékben azon múlik, hogy a régiók fejlesztési stratégiájukban milyen szerepet szánnak az érett tercier és a kvaterner ágazatoknak, a gazdaság fejlesztésében milyen súlyt képviselnek a magas hozzáadott értéket termelő, klaszterekben szerveződött ágazatok. A területfejlesztés új felfogása – a globalizáció hajtóerőit a helyi adottságokkal ötvözni képes szakmai kultúra – fontos szelekciós tényező lesz majd a területi egyenlőtlenségek mérséklésében és erősödésében.

2. A regionalizmus térnyerése Európában

A középszint szerepének felértékelődésében közrejátszó nemzeti és európai gazdasági, politikai és társadalmi változásoknak jól kitapinthatók azok az elemei, amelyek az államigazgatás szervezeti rendszereinek szakracionális reformlépéseit kikényszerítették, állandó nyomás alatt tartották a hatalmi gépezet központi szervezeteit, újraszabályozásra készítették a társadalomirányítást, a forráselosztás rendjét, mozgatták a decentralizációs folyamatokat. Természetesen az egyes elemek eltérő befolyást gyakoroltak a változásokra, a területi rendszer különböző alkotórészeinek minőségét és kapcsolati viszonyait alakították át, időbeli megjelenésük is eléggé eltérő volt. Hatásaik azonban mély nyomokat hagytak az intézményrendszerben. A területfejlesztés szubnacionális szereplőinek egyre nagyobb száma, fokozatos megerősödésük, a funkcióik gazdagodása – az állami intézményrendszer átalakulásával párhuzamosan – a centralizált hatalom versenyképes ellensúlyát teremtette meg Európa sok országában. Az önálló regionális hatalomgyakorlás lett az európai politikai szótár legnépszerűbb tárgyszava a 20. század utolsó harmadában.

Elemizzük részletesebben azokat az okokat, amelyek a regionalizmus kiteljesedéséhez vezető út fontosabb csomópontjait formálták:

2.1. Az etnikai-kulturális regionalizmus

Az e század közepén még erősnek tűnő nemzetállami hatalmi rendszeren az első repedések a *regionális etnikai mozgalmak* tevékenységének felerősödése nyomán keletkeztek (Esman, 1977; Joó, 1984; Keating, 1988; Rokkan–Urwin, 1983; Sharpe, 1979). Államfilozófiai szempontból a belga és a spanyol regionális szubkultúrák önállósodási törekvései voltak a leghatékonyabbak, e két ország unitárius berendezkedésének megváltoztatását kényszerítették ki. Részleges – de a hatalom megosztásának alapvető elemeit intézményesítő – sikereket értek el a kisebbségi politikai erők Olaszországban a különleges státútumú régiók kiterjedt jogosítványainak megszerzésében. Ennél csekélyebb – de még mindig kitapintható – hatása volt a szardíniai, a breton és az elzászi mozgalmaknak a francia regionális decentralizációra. Nem sok változás követte viszont az Egyesült Királyság periferiáin hosszú múltra visszatekintő skóti, walesi és északír autonomista mozgalmak, nacionalista pártok politikai dokumentumokban is megfogalmazott követeléseit.

Az etnikai mozgalmak követelései és hatásuk a hatalom területi szerkezetére országoként különböző a történelmi előzmények függvényében. Olaszországban Trentino-Alto Adige régió különleges státútummal való felruházása óta, az 1970-es évek végétől az etnikai szervezetek lényegében területi határaik között demokratikus módon gyakorolják jogosítványukat, nem fejtenek ki érzékelhető nyomást a központi hatalomra. Az új olasz regionalizmus vezető erejét jelentő Északi Liga nem etnikai alapon szerveződött, hanem az északi tartományokban folyamatosan működő antimeridionalista és idegengyűlölő csoportok alkalmi politikai szövetségeként tevékenykedik, de így is fontos szereplője és koordinátora az autonomista erőeknek. A szeparatista ideákkal sűrűn átszőtt, politikai legitimációval is rendelkező ligamozgalom ma már Nyugat-Európa legfiatalabb egységes nemzetállamának integritását veszélyezteti, az elszakadás politikája rég túllépi a regionalizmus eszmei kereteit.

A kontinens egyik legrégebbi nemzetállamában, Spanyolországban az egységes királyság tartományai félezer év óta sikeresen megőrizték regionális identitásvitát, a Franco-korszak után az új alkotmány – hosszas viták után – törvénybe is foglalta a régiók széles körű jogait. A spanyol régiók közül csupán Baszkföld fejezte ki elégedetlenségét, a baszk szeparatista mozgalom, az Euzkadi Ta Askatasuna (ETA) durva, militáns eszközökkel tartja folyamatosan napirenden az önálló állam alapítását.

A szélsőséges nacionalista mozgalmak azonban nem minden esetben állnak a nemzetállamtól való elszakadás platformján, kielégítő megoldásnak tartják az állami irányítás radikális reformját is. Az extrém flamand nacionalista párt programjának legfontosabb célkitűzése az volt, hogy az országrész népességarányával és gazdasági erejével azonos hatalmi pozíciók jussanak Flandriának Belgium-

ban, illetve a flamand nyelv kötelező államnyelvvé válhasson. Az új belga alkotmány az ország föderatív berendezkedésének garantálásával lényegében kielégítette a flamand nemzeti párt követeléseit, így ma már Belgiumban nincs olyan politikai erő, amely az ország feldarabolása mellett szállna síkra. A Belgiumban az e század közepétől lejártszódó regionális gazdasági átrendeződési folyamatok azonban az etnikai mozgalmakat és a perifériákon szerveződő érdekcsoportokat új típusú követelésekre készítették. A korábban Belgium gazdasági erejét meghatározó, nehézipari szerkezetű Vallónia fokozatosan veszített gazdasági potenciáljából, és az új területfejlesztési hajtóerők egyre inkább kedvező hatást fejtettek ki Flandriában. A flamand vállalkozói réteg – felismerve az új térformáló tevékenységek fejlesztő szerepét – az ország modernizálására való hivatkozással az állami erőforrások tradicionális mechanizmusainak újrafogalmazását követelte. Ez a fogyasztási típusú gazdasági regionális nacionalizmus nem fordul totálisan szembe a központi állammal, nem kívánja a képviselt régiót kivonni az állam fiskális és monetáris politikájának hatóköréből, hanem saját érdekei alapján új normák megfogalmazását igényli (Johnson, 1968). Tevékenységének középpontjában erőteljes gazdaságfejlesztési politika áll. Ez a taktika azonban esetenként kedvezően befolyásolta a központi állam hatalmát is. Nem könnyű tehát egyértelműen választ adni arra a kérdésre, hogy vajon az 1960-as évek végének decentralizációs engedményei Nyugat-Európa egyes országaiban a központi hatalom tudatos reformkoncepcióiba ágyazódtak-e, vagy a regionális erők által kikövetelt kényszerlépések voltak-e. Mivel a gazdasági eredetű regionális autonómiaigény a központosított erőforrások újraelosztásával szoros kapcsolatban van, növekedési időszakokban e követelések könnyebben teljesíthetők, az autonomista törekvések nem lépik át a politikai küzdőtéren a gazdaságfejlesztés határait, a szeparatista mozgalmi szárnyak kialakulásának kisebb az esélye.

Mivel magyarázható, hogy a nemzetállamok kialakulása óta bizonyíthatóan működő, de hosszú ideig szunnyadó regionális nacionalizmus az 1960-as évek elején élenkült fel és kapott erőre Nyugat-Európában? Az egyik magyarázó ok minden valószínűség szerint a globalizálódó Európában kibontakozó új versenyhelyzetben keresendő. A versenytényezők sorában előkelő helyen szereplő szociokulturális elemek fejlesztése a nemzetiségi régiókban új megvilágításba helyezte a nemzeti identitás fenntartását és erősítését szolgáló intézményrendszert is. E pozitív töltetű reakciót erősítették a perifériák iparosításával együtt járó kulturális homogenizáció elleni fellépések, a nemzetiségi kultúra védelmében foganatosított regionális intézkedések. A másik ok a társadalomirányítás demokratizálódásában keresendő. Ez nem csupán a demokratikus intézményrendszer megerősödését jelenti, hanem azt is, hogy a klasszikus demokratikus alapelvek – például az egyenlőség eszméje – tartalmilag bővültek, és egyre konkrétabbá váltak. Az állam növekvő javaiból való egyenlő részesedés esélyének biztosítását

garantáló jogszabályok nemcsak személyekre, társadalmi csoportokra, hanem az egyes országrészekre, településformákra is érvényessé váltak.

2.2. Az új társadalomirányítási funkciók hatása

A regionalizmus másik meghatározó mozgatóereje a társadalomirányítás *funkcionális elemeinek racionalizálásával* párhuzamosan fejlődött ki. A modern ipari államokban a társadalmi és gazdasági változások a helyi-területi szint funkcióit jelentősen átalakították. A modern területi közigazgatás alapszerkezete az európai városfejlődés első szakaszában épült ki, amikor a rurális térségekből a nagyvárosokba áramló népesség életfeltételeinek megszervezésére kellett a hangsúlyt helyezni. A második, majd a harmadik városfejlődési ciklusban a túlszűfolt városi területekről megkezdődött a népesség elvándorlása, a gazdasági tevékenységek kitelepítése a szuburbiákba és a rurális térségekbe. A területi igazgatásnak tehát már sokkal nagyobb területet kellett átfognia, összetettebbé és differenciáltabbá vált az új térbeli irányítási hatókör szerkezete, nőtt a szervezési feladatok komplexitása. E funkcióbővülés megmutatkozott a területi szervek finanszírozásában is, az állami költségvetés egyre növekvő hányada jutott a szubnacionális szintekre. Az új helyi-területi feladatok végrehajtásához költséges, oszthatatlan nagy beruházásokra volt szükség, ezek lebonyolításához erős tőke és szakértelem kellett. Az urbanizáció és az új ellátási-szolgáltatási felelősség hatékony ellátásának igénye szükségszerűen vezetett a helyi önkormányzatok szervezeti koncentrációjához, a nagyméretű önkormányzatok létrejöttéhez. Azokban az országokban – például Dél-Európában –, ahol a napóleoni típusú hierarchia és a központi-helyi kapcsolatok tradicionális szervezeti rendszere miatt a helyi önkormányzatok ellenálltak a korszerűsítési törekvéseknek, a régió lett az új szervezeti forma.

A jóléti államokban a keynesiánus keresletmenedzselésen és az esélyegyenlőség garantálásán nyugvó központi irányítás bővülő hatóköre egyre több területi szereplőre volt hatással, a partnerség vertikális szervezését intézményesíteni kellett. Ez a felismerés vezetett a regionális dekoncentrált szervezetek kialakításához azokban az országokban, amelyek óvakodtak e feladatok decentralizálásától, vagy megerősödtek a mezoszintek ott, ahol a központi hatalom hatékonysági kritériumok alapján szelektált funkciói között.

A funkcionális racionalitás érvényesülésének és a regionális hatalmi tényezők szerveződésében játszott szerepének bizonyítására legkézenfekvőbb példának a *regionális tervezés* választható. Az 1960-as években Nyugat-Európa sok országában meghonosodott a francia indikatív gazdaságtervezési modell, amely a hagyományos ágazatcentrikus központi tervezéssel szemben a régiókra építkező térbeli struktúratervekből indult ki. Az új felfogás gyökeres változást jelentett,

elismerte ugyanis a nemzetgazdaság regionális sokszínűségét. A regionális adottságok alapos felmérésére, a fejlődési feltételek és fejlesztési irányok nemzeti célokkal való harmonizálására alkalmas tervezési apparátusokat csak a régiókban volt célszerű működtetni, a központi tervező szervek regionális részlegei koordinálták a fejlesztési szereplőket is. A központi államapparátus tehát hivatalosan elismerte a régiók jelentőségét, erőforrásokat különített el a szegényebb régiók támogatására, és eszközöket dolgozott ki a túlfűtött gazdasági növekedést mutató térségek szabályozására. A regionális politikában megjelentek az újraelosztás különböző technikái, a kedvezményezett térségek a támogatást kedvezően fogadták, a központi hatalom számíthatott politikai támogatásukra. A tervezési-gazdasági régió sok országban kínált új terepet a politikusok számára a központ és a helyi önkormányzatok közötti közvetítő szerep formájában. A tervezési régió fontos politikai szerepének felismerését éles pártpolitikai küzdelmek kísérték, mint ahogy hosszas viták folytak a régiók határainak kijelöléséről és számukról is. Bár a regionális tervezés és annak területi intézményrendszere nem egy decentralizációs politika, hanem a központi állam hatékonyságát növelni szándékozó reform terméke volt, mégis nyugodtan tekinthetjük a regionalizmus egyik hajtóerejének. Lehetőséget teremtett arra, hogy a régiók bekapcsolódjanak a nemzetközi területi munkamegosztásba, a külföldi befektetések célpontjai legyenek, és bizonyos érdekérvényesítő szerepet is játszanak az állami források egyenletesebb elosztása érdekében. A függőség és az autonómia sajátos keverékei voltak.

A regionalizmus kialakulását befolyásoló funkcionális változások a társadalomirányítás hierarchikus rendszerét azonban még nem alakították át, a regionalizációs lépések a dekoncentráció szabályai alapján – elsősorban a központi érdekek szolgálatában – történtek, a regionalizált szervezetek a központi államhatalom térben kinyújtott karjai voltak, a centrumtól való függés továbbra is erős maradt. Az autonómia szervezeti csíráit azonban a dekoncentrált hivatalok magukban hordozták, s ezt az elemet különböző politikai erők sokhelyütt kellő érzékkel ki is használták a területi önállóság bővítése érdekében. E törekvéseknek jól kitapintható *politikai-ideológiai* töltetük volt. Politikai megfontolások már korábban is közrejátszottak a regionális struktúrák kialakításában. A két világháború között erősen centralizált közigazgatású Németországban és Olaszországban a második világháború után a győztes hatalmak írták elő a hatalom decentralizálását, hogy megakadályozzák a totalitáriánus kormányzás helyreállítását.

Az 1970-es évek elején a nyugat-európai államszervezésben – a francia és az olasz társadalmi feszültségek tapasztalataiból levont következtetések nyomán – ismét hajlandóság mutatkozott a bürokrácia megerősítésére és a centralizáció fokozására. A központi kormányok a közszolgáltatások hatékonyságának növelésében látták a jóléti politika folytatásának lehetséges útját, kevesebb teret szán-

tak a fogyasztói preferenciáknak. Az ezekkel szemben szerveződött decentralizációs és deregulációs mozgalmak arra tettek kísérletet, hogy korlátok közé szorítsák a technokrata szemléletet, és a termelés hatékonyságával szemben a fogyasztást preferálják. A jóléti gazdaságpolitikát a regionális ipari csoportok erősödő alkupozíciója is nyomás alatt tartotta. A területi termelési lobbyk hallgatólagos beleegyezése nélkül az állam képtelen lett volna a keresletmenedzselés politikáját folytatni. Az ágazati korporációk viszont döntéseikben egyre nagyobb mértékben figyelembe vették régiójuk nem termelő csoportjainak érdekeit. Az érdekazonosság abból a felismerésből táplálkozott, hogy az életkörülmények minimumfeltételeit nem lehet egységesen megállapítani az ország egész területére, mert ez a megoldás újabb egyenlőtlenségeket generálna. A területi közösségek, munkaerőpiacok sajátosságait viszont a domináns vállalatok uralta ágazati korporációk nem voltak képesek érvényre juttatni, az érdekegyeztetés új regionális fórumát kellett megszervezni. A francia, az olasz, a spanyol és a német regionalizmus fontos éltetőereje volt az univerzális egalitarizmus és korporativizmus ellenében kialakított regionális érdekegyeztetési intézményrendszer.

2.3. A regionális érdekek képviselése

A regionalizmus fejlődésében szerepet játszó harmadik markáns tényező a *regionális érdekartikuláció* megnyilvánulásában ragadható meg. Mint már említettük, a hatalmi decentralizációt megtestesítő képviselői intézmények létrejöttéhez a politikai pártokat elemi érdek fűzi, különösképpen, ha ellenzéki pozícióban vannak: „Ellenzékben a decentralizációt szorgalmazzák, hatalomra jutva viszont a centralizáció minden eszközét igénybe kívánják venni” (Gourevitch, 1980, 49). Ezt az évtizedekig igaz megállapítást azonban a 80-as évtized elején a Francia Szocialista Párt megcáfolta, a jakobinus centralizáció elleni küzdelem nemcsak ellenzékben szerepelt a párt politikai prioritásai között, hanem hatalomra kerülése után a decentralizáció az állami politika rangjára is emelkedett. Hasonló magatartást tapasztalhatunk a brit Munkáspárt politikájában is. Az ellenzéki Munkáspárt a regionális hatalommegosztás, a skót, a walesi és az északír autonómia szószólója volt, és 1997. évi kormányprogramja sem feledkezett meg ezekről az ígéretekről.

A többpárti politikai rendszerben a decentralizációnak elvileg nincsenek áthatalmatlan akadályai, hisz egyetlen párt sincs túlhatalmi pozícióban. Ezért sikerült például Olaszországban 1970-ben a kereszténydemokratáknak és a baloldalnak alkut kötniük a regionális közigazgatás bevezetéséről. A kereszténydemokraták ugyanis azért szorgalmazták a régiók megalakítását, hogy a decentralizáció a társadalmi elégedetlenség célpontját elterelje a központi kormányzatról, a legérzékenyebb közszolgáltatási ágazatok (egészségügy, oktatásügy, közlekedés, lakásépí-

tés) irányítási felelősségét az új testületekre ruházzák, a belső vándorlás, az iparosítás okozta urbanizációs válság megoldásába északon bevonják a baloldalt (Mény, 1986). Bár Spanyolországban a regionális erők virulenciája miatt nem volt szükség a politikai pártok közötti paktumra, az 1981. évi sikertelen jobboldali államcsínnykísérlet után a decentralizációs harmonizációs törvényt csak a két nagy politikai erő autonómiakonceptiójával lehetett elfogadtatni. A spanyol szocialisták a regionális funkciók bővítését mintegy vigaszdíjúl szánták a Demokratikus Közép Szövetségének. A regionális kormányzáshoz nélkülözhetetlen közhivatalok a helyi politikusok érdeklődését is felkeltették. Az újonnan megszerezhető hivatali pozíciók nemcsak a politikusok presztízsét növelték, hanem pótlólagos erőforrást jelentettek az új kliensrendszer kiépítéséhez is.

Vannak természetesen a régiók kialakításának késleltetését kívánó érdekcsoportok is. Az államapparátus gondolkodásában mély gyökereket eresztett az oszthatatlan nemzetállam eszméje. Az erősen tagolt önkormányzati rendszer kedvez az egységes irányításnak. A központi hivatalok nagy része a strukturális modernizáció halogatásában érdekelt, különféle technikákat használ a látszólagos reformlépések igazolására. Az egyik gyakran alkalmazott megoldás a helyi önkormányzati szövetségek működésének állami eszközökkel való támogatása, a polgármesterek gyűlésének bevonása a döntések előkészítésébe. Ezek a formák átmenetileg persze képesek bizonyos hatékonyságnövelő szerepet betölteni, de hosszú távon érezhető hatásuk nincsen, ezért sem tudják véglegesen meggátolni a régiók szerveződését.

Az indusztriális társadalomfejlődés negatív következményei – a gazdasági hanyatlás, depresszió – ellen, az egyes régiók modernizálása érdekében különböző regionális *üzleti érdekcsoportok* léptek fel. A szerkezetváltozásból láthatóan hátrányt szenvedő régiók vezető gazdasági körei egyre nagyobb elégedetlenséget tanúsítottak a központi kormány regionális fejlesztési manőverei iránt (amelyek lényege a túlfűtött régiókból történő erőforrás-átcsoportosítás volt struktúrafejlesztési jelszóval, többnyire azonban a központi érdekeknek megfelelően a gazdaság diverzifikációjához készítette elő a terepet a centrumtérsegekben). A modernizációs erők saját gazdaságfilozófiát alkalmaztak a központi gazdaságpolitika ellen, s ennek megvalósításához különböző regionális érdekszövetségek szerveződtek. A régiók befolyásos üzleti csoportjai tisztában voltak azzal, hogy piacépítő tevékenységükhöz szakképzett munkaerőre, kutatási és fejlesztési (K+F) kapacitásokra, vonzó kulturális légkörre, fejlett infrastruktúrára és termelési szolgáltatásokra van szükség. E tájegységek gazdasági-politikai koalíciói (különösen, ha az etnoregionalizmus erői is jelen voltak) nyomásgyakorló tevékenységükkel elősegítették a központi hatalom decentralizálását, az erős közigazgatási középszint megteremtését. (Meg kell azonban jegyeznünk, hogy a regionális piacépítés és a közigazgatás érdekei a regionalizmus intézményi kiépülése után di-

vergálódhatnak is, mint ezt Nyugat-Európa több regionális államának tapasztalatai mutatják az utóbbi időben – új típusú konfliktusok keletkeznek a gazdasági lobbyk és a regionális kormányzatok között.)

2.4. Az európai integráció regionális politikájának kiteljesedése

A regionalizmus térnyerése negyedik fő okának tekinthető a közös, összehangolt regionális politika szerepének fokozódása az Európai Gazdasági Közösségben. A gazdasági korszakváltáshoz igazodó nemzeti politikai változásokkal párhuzamosan zajlott az Európai Közösség regionális politikájának megújítása. Az új stratégia kialakítása részben a tagállamok koncepciói összehangolásának az igényéből fakadt, részben pedig a Közösség bővülésével kiéleződött regionális differenciák mérsékléséhez nyújtott programot és eszközöket.

Az 1957. évi Római Szerződés a preambulumban még csak általában tett arról említést, hogy a tagállamoknak a gazdasági egység megteremtését és a harmonikus fejlesztést az egyes régiók közti különbségek mérséklésével, az elmaradott területek felzárkóztatásával kell összekapcsolni. Az 1987. évi Egységes Európai Okmány már részletesen kifejtette a regionális politika főbb elveit és eszközeit.

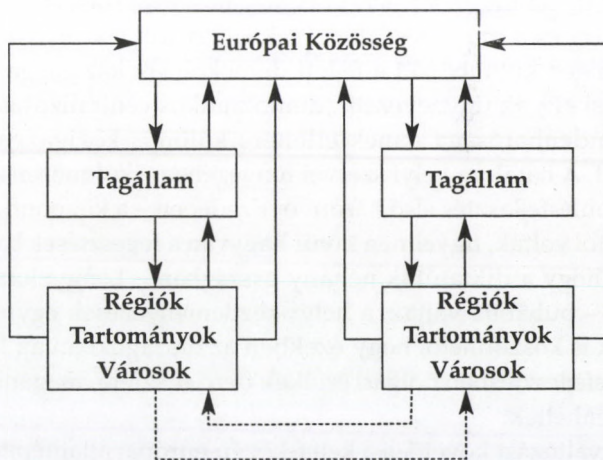
A 80-as évtized végén – mindenekelőtt a föderalizált és a regionális közigazgatással rendelkező országokban – széles körű vita bontakozott ki arról, hogy az egységes Európa-koncepció életbelépését követően nyilvánvaló szervezeti és döntési mechanizmusváltozások miként érintsék a regionális szerveket. A szakmai és a politikai diszkussziók két téma körül kristályosodtak ki: az egyik kérdés a területi önkormányzatok közvetlen részvételi lehetőségei a Közösség döntési mechanizmusában és irányító szervezeteiben (1. ábra), a másik pedig a régiók direkt bekapcsolódásának feltételei az egységes európai piac indukálta új gazdasági folyamatokba. Az utóbbi vitapont azon a felismerésen alapszik, hogy a munkaerő, a tőke szabad áramlása különbözőképpen érinti majd Európa régióit, a régiók a versenyhelyezetre csak kompetenciájuk bővítésével készülhetnek fel.

Belgium, Németország és Olaszország régiói már megfogalmazták elképzeléseiket az új munkamegosztás kialakítására, javaslataikban felsorolják azokat a tárgyköröket is, amelyekben a régióknak kiemelt szerepkört igényelnének. Ezek a következők: gazdaságfejlesztés (az ágazati fejlesztési programokban való részvétel), regionális fejlesztés, környezetvédelem, bevándorlási és menekültügyek, kulturális és oktatáspolitikai. Elkészült az Európai Unió regionális kartájának tervezete is. A dokumentum bevezetőjében leszögezi, hogy a közösség regionális politikája leghatékonyabban a megfelelő hatáskörrel rendelkező autonóm regionális intézmények közreműködésével valósítható meg.

a) A nemzeti kormányokon keresztül zajló vertikális kapcsolati viszony
(az 1993 előtti modell)



b) Horizontális és vertikális kapcsolatrendszer a területi egységek részvételével
(a mai modell)



1. ábra. A szubnacionális kormányzatok kapcsolatrendszerének fejlődése
az Európai Unióban

Az Európai Közösség legfelsőbb szervei e regionális kezdeményezésekre kedvező választ adtak. 1988-ban az Európai Bizottság mellett regionális és helyi önkormányzati konzultatív tanács jött létre, a szubszidiaritás elvének deklarálása egyre több közösségi dokumentumban jelent meg, a Bizottság döntés-előkészítési procedúrájába kezdte bevonni a régiókat. Mindezt kezdetben azonban igen óvatossággal tette, mert a tagállamok egy részében a nemzeti kormányok ellenállása szemmel látható volt. A döntő áttörést a Maastrichti Szerződés jelentette. 1994-ben megalakult a Régiók Bizottsága, amely az ágazati és funkcionális döntés-előkészítő szervekkel azonos hierarchikus szinten már alkalmas a regionális érdekek képviseletére.

3. A régiók szerepe Kelet-Közép-Európában

Kelet-Közép-Európában a regionális fejlődés hajdani meghatározó szervezeti formája a hierarchikus tervezési apparátus volt – csúcsán a valamennyi országban nagy hatalommal rendelkező központi tervhivatal állt. A központi nagy beruházásokon és az állami szociális politikán nyugvó regionális fejlesztések nem igényeltek sokszereplős, horizontális együttműködésben tevékenykedő intézményrendszert. Az állami redistribúció érdekeit, a központi akaratot a vertikálisan alárendelt szervezetek érvényesítették a leghatékonyabban. Ez az államszervezési logika határozta meg a területi-közigazgatási beosztást is.

Bár formailag és a működési alapelvek egy részét tekintve a szocialista közigazgatás nemigen különbözött a fejlett demokráciák közigazgatásától, a domináns szervezési elv, az úgynevezett „demokratikus centralizmus” és a kommunista párt mindenhatósága ennek ellenére különös közigazgatási működést eredményezett. A hatalom helyi szervei lényegében – különösen az extenzív iparosítás és településfejlesztés első három évtizedében – a központi akarat kíméletlen megvalósítói voltak, figyelmen kívül hagyván a fejlesztések bármiféle területi adottságait. Ahogy a diktatúrák néhány országban – Lengyelországban és Magyarországon – puhábbá váltak, a helyi kezdeményezések egyre nagyobb teret kaptak. Ennek is köszönhető, hogy ezekben az országokban az 1980-as évtizedben a településfejlesztésben polgári értékek (tercier szféra, magánkezdeményezések) is megjelenhettek.

A rendszerváltozást követően a kelet-közép-európai államépítés fontos tartalmi változásokon ment keresztül. A hierarchikus, végrehajtó jellegű tanácsrendszer helyébe az önkormányzati struktúra lépett. Az önkormányzati törvények megteremtették az alkotmányos alapokat a hatalom decentralizált gyakorlásához. A helyi önkormányzatok ma már rendelkeznek szervezeti és döntési önállóságuk alkotmányos garanciáival (Tóth, 1997). Jelentős változások történtek az önkormányzatok finanszírozásában is.

A kedvező változások ellenére azonban továbbra is nyitott – és a regionális politika szempontjából fontos – kérdést jelentenek a központi állam és a települések között elhelyezkedő közigazgatási egységek (a mezoszint). Általános jelenség Kelet-Közép-Európában, hogy ezek a szintek – jórészt a korábbi rendszerben játszott negatív szerepük, rendkívül erős politikai és újraelosztó funkcióik ellenreakciójaként – igen csekély önkormányzati jogosítványokkal rendelkeznek.

Az elmúlt évtizedben a *területi-közigazgatási rendszer* működésében, funkcióinak változásában Nyugat- és Kelet-Európa között lényeges különbségek figyelhetők meg. Az Európai Unió tagországaiban az Egységes Európai Okmány életbelépését követően a szubnacionális szint szerepe felértékelődött. Egyrészt azért, mert az Európai Községek új, generális szervezési elve, a *szubszidiaritás* – az eredeti koncepció módosulása nyomán – a szubnacionális közigazgatási egységek döntési kompetenciájának a bővülését eredményezte, másrészt a nemzeti kormányzat alatti szint a közös európai regionális politika szempontjából is kulcsszerephez jutott. Az új strukturális és támogatási politika a szerkezetileg gyenge és a gazdaságilag hanyatló régiók önkormányzataival való együttműködést, valamint a regionális és a nemzeti gazdaságfejlesztési stratégiák koordinációját fontos alapelvként rögzítette.

A regionalizálás, a hatalom területi decentralizációja, a különböző önkormányzatok közötti munkamegosztás Kelet-Közép-Európa csatlakozni kívánó államaiban is a viták kereszttüzébe került. A politikai rendszer átalakulása, a globalizálódó európai gazdaságba való bekapcsolódás, a polgári demokrácia alapelveit érvényesítő önkormányzati struktúra kiépítése új megvilágításba helyezte a központi és a területi-helyi hatalom kölcsönviszonyait, a települési önállóság és a mezoszintű közigazgatási funkciók harmonizálását. Szinte valamennyi volt szocialista országban az önkormányzati alapszintek gazdasági, politikai és funkcionális átalakítása lett a központi kérdés. A korábbi szubnacionális szint vagy megszűnt (Csehszlovákia utódállamaiban), vagy funkciói lényegesen mérséklődtek (Magyarországon), illetve átalakultak (Lengyelországban), vagy pedig új területi középszintek szerveződtek (Horvátországban), vagy vannak kialakulóban (Szlovéniában).

A piacgazdaság kiépülése, a gazdaság szerkezeti átalakítása azonban viszonylag gyorsan nyilvánvalóvá tette, hogy sem a regionális feszültségeket nem lehet mérsékelni, sem pedig az országok többségében megfogalmazott regionális politikai célkitűzéseket nem lehet végrehajtani. Regionális programokat nem lehet kidolgozni a területi középszintek funkcióinak átfogó reformja nélkül. Nem véletlen tehát, hogy a mezoszint funkcióinak felülvizsgálata – ami nem nélkülözheti az egyes országok térstruktúráinak átalakítása és modernizálása előtt álló feladatok alapos számbavételét sem – néhány országban felvetette a regionalizáció intézményesítését, a nyugat-európai föderalizált és regionális államok területi

középszintjeihez hasonló méretű és jogosítványokkal rendelkező, kisszámú területi egység létrehozását.

A gazdasági regionalizáció *modernizációs szerepe* napjainkban Kelet-Közép-Európában leginkább Lengyelországban jelenik meg nyíltan: pl. a poznańi vajdaság modernizációs programjai a történelmi Wielkopolska régióra fejtenek ki multiplikátor hatást, s ebben a vajdaságban fogalmazódtak meg az első javaslatok a lengyel regionális közigazgatás megszervezésére.

Európa uniós államai – a gazdaság globalizálódása, internacionalizálódása, az európai integráció elmélyülése következtében is – új államszervezeti rend felé mozdulhatnak el a közeljövőben.

A középszintű közigazgatás továbbfejlesztését, újragondolását az alábbi tényezők indokolják Kelet-Közép-Európában:

- a) Az önkormányzati szférában tapasztalható dezintegrációs jelenségek arra utalnak, hogy a rendszer jogi és érdekeltségi kapcsolódási pontjai hiányoznak, a kizárólag alulról és önkéntesen építkező modell eszménye tévesnek, irreálisnak bizonyult.
- b) A lényegében egyszintű önkormányzati rendszer miatt a regionális fejlesztési feladatok gazdátlanul maradtak, ezt az űrt az állam dekoncentrált szervei igyekeznek betölteni; a középszintű önkormányzati vákuumba behatoló dekoncentrált államigazgatás egy része szervezetidegen feladatokat lát el, ágazatilag tagolt struktúrája koordinációs és információs, valamint érdekegyeztetési hiányt eredményezett.
- c) Az önkormányzati rendszer dezintegráltsága, a dekoncentrált közigazgatás diszfunkciói felerősítették a kormányzati centralizációs törekvéseket, s a területi közigazgatási egységekben egymással rivalizáló állami és önkormányzati modell körvonalai bontakoznak ki.
- d) A középszint államosításának tendenciája ellentétben áll az európai integrációs folyamatokkal, ez a visszasság csak az önkormányzati középszint létrehozásával számolható fel.
- e) A területi közigazgatás fontos feladata lehetne a jövőben az interregionális együttműködés eszméjének képviselője és védelme a központi kormányzati szervek előtt. Gondolni kell arra, hogy a „Régiók Európája” – mint az európai integráció egyik vezérgondolata – csak viszonylag hasonló kompetenciájú és komplexitású területi egységek együttműködése esetén képzelhető el.

Amennyiben a középszintű egységeknek a regionális politikában a jövőben fontos szerepet kívánnának Kelet-Közép-Európában juttatni, nyilvánvalóan felvetődik a jelenlegi középszintű beosztás kérdése is. A jelenlegi megyék, vajdaságok, járások mérete, gazdasági potenciálja igen kicsi ahhoz, hogy a decentralizált regionális politika alapegységei legyenek. Nem véletlen tehát, hogy több ország-

ban új regionális fejlesztési vagy közigazgatási egységek kialakítására fogalmazódtak meg elképzelések. Várható, hogy a jövőben mind több országban felerősödik a regionalizmus, ami kényszerítő erővel hat majd a központ-vidék munkamegosztásának az újrafogalmazására is.

4. A regionális politika új súlypontjai

Az európai gazdaság fejlődési tényezőiben bekövetkezett tartós átalakulási tendenciák és az európai integráció minőségi jellegű változásai, illetve mindezeknek a nemzeti politikai rendszerekre gyakorolt hatásai érezhetően befolyásolják a regionális politika cél-, eszköz- és intézményrendszerének jövőbeli alakulását is. A regionális fejlesztés és a makropolitika kölcsönkapcsolataiban és a regionális politika belső mechanizmusaiiban jelentős átalakulásnak lehetünk tanúi.

A regionális politika évszázados fejlődésének legfontosabb tanulsága ma már az európai gondolkodás szerves részévé vált. A *szolidaritás* eszméjét az európai államok többségének nemzeti és ágazati politikái a társadalmi cselekvés kiindulópontjának tekintik, ugyanígy az Európai Unió kohéziós stratégiája. Az európai modellt mindenekelőtt ez különbözteti meg a többi kontinens társadalomirányítási gyakorlatától. A kohéziós modell gazdasági értelemben a régiók és a társadalmi csoportok közti különbségek mérséklését jelenti, azt, hogy a népesség minél szélesebb rétegei működhessenek közre a gazdasági növekedés feltételeinek megteremtésében, és részesedhessenek ezek eredményeiből. A kohézió szociális dimenziója a foglalkoztatottság lehető legmagasabb szinten tartását, a hátrányos társadalmi rétegek foglalkoztatási lehetőségeinek javítását és a munkanélküliség mérséklését fogja át. S végül a kohézió a politikai gyakorlatban az államon és az Európai Közösségen belüli kölcsönös támogatás megnyilvánulása, nem egyszerűen csupán jövedelemtranszfer formájában, hanem a belső erőforrások optimális hasznosítását szolgáló eszközök és módszerek közös alkalmazásában.

Az utóbbi évek változásai azt vetítik előre, hogy az új évszázad legelején a regionális politika mozgásterét – a gazdaság fejlődési öntörvényein kívül – két markáns tényező határozza meg: az egyik az Európai Unió szervezeti, működési, finanszírozási reformja és keleti bővülése, a másik pedig – nem kismértékben az előbbi tényező hatására – a nemzetállamokon belüli új hatalmi munkamegosztás kialakulása, a decentralizáció.

Az uniós reformok azért érdemelnek különös figyelmet, mert – mint láhattuk – az európai kohézió erősítésében az integráció strukturális és kohéziós alapjaitól a régiók nagyságrendekkel nagyobb támogatásban részesülnek, mint a nemzeti regionális forrásokból. A regionális fejlesztésekre eddig felhasznált, hozzávetőlegesen 250 milliárd ECU közösségi támogatás végeredménye nem túlzottan kecsegtető, hiszen a kohéziós elemzések a területi különbségek igen lassú csökke-

néséről tanúskodnak. A hatékonysági követelmények gyenge érvényesülésének egyik oka a támogatások szétaprózottságában keresendő. Az előkészületben lévő reformok egyik meghatározó iránya nem véletlenül az *erőforrások koncentrált felhasználásának* fokozása. A kedvezményezett térségek lehatárolásában a rászorultságot szigorú kritériumok alapján kell megfogalmazni, a támogatható népesség aránya a közösségi lakosságszám egyharmadára szorítandó. Az eddigi beruházási gyakorlat is felülvizsgálatra szorul, lévén hogy a fejlesztések multiplikátor hatásai nem érték el a kívánatos mértéket, illetve – különböző okok miatt – a régiók abszorpciók képessége sem alakult az eredeti elképzeléseknek megfelelően. Az addicionalitás – a helyi, regionális és nemzeti hozzájárulás – következetes érvényesítése tűnik az egyetlen járható útnak. A másik kulcskérdés a területfejlesztési szereplők közötti együttműködésnek, a *partnerségnek* a szubszidiaritás elveit figyelembe vevő érvényesítése. Az Európai Unió támogatási rendszerében a „cost-benefit” hatások „ex ante” értékelése nagyobb szerephez jut, ami – a regionális gazdaság működéséről meglévő tudás és nem kizárólag a tőkeerősség függvényében – új differenciálódást indíthat el az európai régiók között.

A *decentralizáció* – az utóbbi évtizedek folyamatai egyértelműen ezt mutatják – ma már általános jelenségnek számít Európában. 1950-ben még a kontinens népességének negyede, a '90-es évek közepén pedig már 60%-a élt föderalizált vagy regionalizált államokban. A jövő század első évtizedének végére – a Szovjetunió utódállamait nem számítva – Európa népességének több mint kétharmada lakik majd olyan országokban, ahol a gazdasági növekedés tényezőinek befolyásolásában nem az állam, hanem a szubnacionális szint játssza a meghatározó szerepet. E mennyiségi változást – jelenlegi ismereteink szerint – két nagy népességű ország, az Egyesült Királyság és Lengyelország új regionális közigazgatásának kiépítése eredményezi majd.

A nemzetállam alapvető érdeke lesz a jövőben, hogy a gazdaságpolitika irányítása feletti hatalmát a külső – globalizációs és integrációs – nyomás hatásától az országhatárokon belüli döntési potenciál növelésével, a régiók szabályozott érdekérvényesítő képességének fokozásával kísérelje meg ellensúlyozni. A keynesiánus gazdaságpolitika tradicionális regionális fejlesztési gyakorlata az új paradigmában már nem alkalmazható sikeresen, az állami regionális politikát a régiók saját politikája váltja majd fel. E paradigmaváltás azonban nem következhet be automatikusan, a különböző fejlettségű régiók érdekeltsége a regionalizmus intézményesítésében jelentős eltéréseket mutat. A legszegényebb régiók továbbra is a külső – nemzetközi és nemzeti – segítségtől remélhetik felemelkedésüket, motivációik inkább kötődnek a hagyományos támogatási rendszerekhez, mint a „Régiók Európájá”-ban kívándó szélesebb körű autonómiához. A regionális decentralizáció elkötelezett hívei a fejlett régiók sorából kerülnek ki, amelyek az egységes piac, a gazdasági és a monetáris unió egyértelmű kedvezménye-

zettjei lesznek. Nem véletlen, hogy ma Európa leghatékonyabban regionális együttműködési hálózatának a – területileg nem is érintkező – Baden-Württemberg, Lombardia, Rhône-Alpok és Katalónia alkotta, „Európa négy motorja” elnevezésű kooperációt tekintik (Amin-Tomaney, 1995; Späth, 1991).

A regionalizmus általános érvényű kibontakozása előtt azonban még jelentős akadályok húzódnak. A nemzeti kormányok továbbra is fontos szabályozó szerepet játszanak a régiók és az Európai Bizottság közötti kapcsolatok alakításában. Európa legfejletlenebb régiói érdekeiket kevésbé tudják az integrációs döntésekben érvényesíteni, hisz a szegény államoknak egyébként is kevesebb képviselőjük van az Unió testületeiben. Az Unió versenypolitikája is a centralizációs hatásokat erősíti. A közösségi regionális politika a versenyadottságokból fakadó különbségeket kevésbé képes ellensúlyozni. A föderalista Németország az érzékeltes példája annak, hogy a regionalizmus és a területi különbségek mérséklése a központi kormányzat szintjén is összeegyeztethető.

Az európai integráció visszafordíthatatlan elmélyülésével párhuzamosan a nemzeti kormányok kulcspozíciói legalább három területen továbbra is megmaradnak. Az egyik meghatározó nemzetállami feladat a részvénytársasági kapitalizmus irányításának szabályozása. Az iparfejlesztések a jövőben sem képzelhetők el hatékony nemzeti pénzügyi rendszerek nélkül, mint ahogy a vállalati stratégiák legbiztosabb kiindulópontját is a hazai piacok és szabályozási környezet jelenti majd. A másik fontos központi kormányzati teendő a nemzeti innovációs, műszaki fejlesztési programok koordinálása marad. Végül a harmadik nemzeti szintű prioritásként a munkaerőpiaci és iparpolitikai feladatok fogalmazhatók meg. E két utóbbi nemzeti funkció gyakorlásának eredményessége azonban nagyban függ attól is, hogy számos részfeladat megoldásában a szubnacionális közigazgatás milyen hatékonysággal tud szerepet vállalni. A regionalizáció tehát a nemzetállam sikeres működésének egyben előfeltétele is, hiszen makropolitikai célok átgondolt humán-erőforrás-, oktatás, képzés, vállalkozásfejlesztés nélkül nem valósíthatók meg, kiegyensúlyozott piaci verseny sem képzelhető el a szociális partnerek együttműködése nélkül. Ezek megoldása pedig a régiók szintjén a legoptimálisabb (Keating, 1998).

Kelet-Közép-Európában az állam és a régiók közti hatalommegosztás jövője ma még bizonytalannak tűnik. A decentralizáció perspektívái a gazdasági hatékonyság és a felülről vezérelt rendszerváltozás eredményességének összhangjától függnek. A hatalom telepítésének regionális előfeltételei kedvezőtlenek. A volt tervgazdaságokban az erős központosítás szervezeti keretei fennmaradtak, még ha a központi irányítás tartalma jelentősen meg is változott. A legkedvezőbb esetben is hosszú decentralizációs folyamatra lehet számítani. Lengyelország – és talán Magyarország – építi ki az európai uniós csatlakozásig a decentralizált hatalomgyakorlás politikai és intézményi kereteit.

A decentralizáció három lehetséges pályája képzelhető el Kelet-Közép-Európában. Az egyes változatok a hatalommegosztás mértékében és minőségében különböznek egymástól. Az alternatívák közüli választás természetesen nem önkényes, az egyes országok történelmi hagyományai, a gazdasági átalakulás jellege, a piacgazdasági intézmények kiépítettsége, a politikai erőviszonyok és a térszerkezet tagoltsága egyaránt befolyással vannak a hatalmi koncentráció mérséklésére. A központi államigazgatásra nehezedő decentralizációs nyomás nyilván erősebb azokban az országokban, ahol dinamikus regionális nagyvárosi központok (pl. Lengyelországban) autonóm fejlődésüket, az európai területi munkamegosztásba való betagolódásukat a belső erőforrásaik lehető legszabadabb hasznosításával és a posztindusztriális fejlesztési tényezők segítségével kívánják ösztönözni. Nagyobb ellenállásba ütközik az alulról jövő kezdeményezések legitimálása viszont ott (pl. Magyarországon), ahol a centrumtértségnek domináns, sőt erősödő pozíciói vannak a versenyképességet növelő termelési tényezőkben. Bár e két ország példája annak érzékeltetésére is alkalmas, hogy az ütközéssé tehető regionális centrumok meglelte csupán potenciális előny, a magyar területi önkormányzatok politikai legitimitásából és a regionális fejlesztés törvényi szabályozásából fakadó decentralizációs szívóhatás némiképpen ellensúlyozhatja az európai léptékű markáns regionális központok hiányát.

Az első lehetséges decentralizációs modellben a központi és a regionális szervek közti munkamegosztást világos és egyértelmű szabályok rendezik. A két szervtípus hatáskörébe tartozó fejlesztési feladatok aszerint különülnek el, hogy azok hatása milyen területi egységre terjed ki. E feladatok megoldásához a regionális hatóságok saját bevételekkel is rendelkeznek, széles körű tervezési jogosítványaik vannak, a hatókörükbe tartozó önkormányzatok fejlesztéseit saját pénzalapjaikból támogatathatják. A régiók gazdasági fejlettségének függvényében a saját és a megosztott bevételek központi pénzügyi transferekkel kiegészíthetők. E stratégia biztosítja a legteljesebb decentralizációt, hosszú távon ez a leghatékonyabb megoldás, megvalósításához azonban számtalan – politikai, alkotmányos, közigazgatási, gazdasági – előfeltétel szükséges. A regionális önkormányzatok kiépülése Kelet-Közép-Európában ma még nem tűnik reális perspektívának. A térség további differenciálódását idézi majd elő, hogy Lengyelország és vélhetően Magyarország a regionalizmus útjára lép.

A második decentralizációs stratégia lényege az, hogy a központból csak bizonyos – tervezési, fejlesztési, végrehajtási, felügyeleti, finanszírozási – funkciók települnek át a régiókhoz, a regionális politikai feladatok egy része továbbra is a központi hatalom kompetenciájába tartozik. A hatalommegosztás mértéke azon múlik, hogy milyen feladatok decentralizálására kerül sor, milyen intézményrendszer fogadja ezeket, és milyen eszközök állnak a régiók rendelkezésére. Az uniós berendezkedésű országok számára ez a változat (rövid távon) kedve-

zőbb, hisz a befogadó közeg felkészítése kisebb erőfeszítést igényel, a közigazgatási rendszer gyökeres átalakítására sincs szükség, sőt – ami a legfontosabb – a központi szervek tényleges befolyása sem változik, a dekoncentrált állami szervezeten keresztül a regionális fejlesztések irányítása komplexebb lesz, esetleg hatékonyságuk is nő.

A harmadik változatban a központi és a területi szervek közötti felelősségmegosztás meghatározott eseti feladatok megoldására vonatkozik. A periférikus, elmaradott régiók fejlesztésére közös irányító testületet hoznak létre, az állam pénzügyi forrásainak egy részét e döntési fórum rendelkezésére bocsátja, a fejlesztési programok megvalósítását a területi egységekre bízta. Ez a megoldás a decentralizáció legenyhébb változatát jelenti, a kialakult hatalmi berendezkedés átalakítására nincs szükség. Nem véletlen, hogy a legtöbb kelet-közép-európai ország e stratégia alapján kezdett hozzá területfejlesztési programjainak a kidolgozásához.

5. Az új századelő kihívásai Magyarországon: decentralizáció és integráció

Az új magyar területi stratégiának és regionális politikának egyrészt érvényesítenie kell a *piacgazdaság követelményeit*, másrészt adaptálnia célszerű az *Európai Uniónak és tagállamainak a regionális politika harmonizálására megfogalmazott célkitűzéseit*, végül hasznosítani érdemes a *globális európai folyamatok általános tapasztalatait*, többek között az interregionális és határ menti együttműködések kohéziós szerepének felértékelődését, az európai együttműködés irányításának decentralizálódását, a regionális hatalom fokozatos funkcióbővülését.

A gazdasági növekedés hosszú távú pályáját befolyásoló és a térsztruktúrákra is jelentős hatást gyakorló gazdasági szerkezeti átalakulás főbb elemei a következők:

- *Dezindusztrializáció* (az ipar lassú térsztése, minőségi átalakulása, előbb a foglalkoztatottak számának, majd a GDP előállításához való közvetlen hozzájárulás mértékének a csökkenése; a tradicionális ipar térsztését az újraiparosítás mérsékelheti).
- *Tercierizáció* (a szolgáltatóipar túlsúlyba kerülése a gyáriparral szemben, a termelési szolgáltatások elterjedése (a gazdasági versenyben fokozódik az innovációs és a nem ár jellegű tényezők befolyása, a termék- és piaci diverzifikáció fokozódik; ez a változás a termelés és a szolgáltatások kooperációjának az erősítését indukálja).
- *Technológiai váltás* (az új ipari fejlődési szakaszban a vállalkozások számára nem elsősorban az anyagi jellegű input-output kapcsolatok, hanem az új technológiai előnyöket hasznosítani képes, a piaci fejlődést ösztönző technológiai, információs és pénzügyi erőforrások válnak meghatározó tényezővé;

a fenntartható fejlődés csak a technológiai képességek gyökeres megváltoztatásával képzelhető el).

- *Decentralizáció* (a vállalati szervezet- és tulajdonformák átalakulása, az új dinamikus hajtóerők és az infrastruktúra fejlődése a gazdaság térbeli telepítését diszperzebbé teszi, regionális gazdasági hálózatok jönnek létre, egyszerűsödik a településtípusok közötti differenciálódás, és fokozódik a verseny a gazdaság telepítéséért).
- *Az európai integráció elmélyülése.* (A nemzetközi tőkepiacon lezajlott változások eltérő módon érintették a régiókat. A hálózatos gazdaságok szervezéséhez alkalmazkodni képes régiók nyertesei, a tradicionális tőkeimportőrök pedig vesztesei lettek a tőke- és valutaliberalizációs változásoknak. Mivel a globalizálódó gazdaságban a vállalati központok kitüntetett pozíciója továbbra is fennmaradt – sőt bizonyos mértékig még erősödött is –, e változási tendenciák a fejlett régióknak kedveztek. Az egységes európai piac hatásai a regionális versenyképesség feltételeit új megvilágításba helyezték. Az európai növekedési erőközpontokhoz geográfiailag közelebb fekvő, ahhoz fizikai infrastrukturális rendszerekkel is kapcsolódó térségek viszonylag könnyen adaptálódtak az új feltételekhez, a perifériák viszont egyértelműen versenyhátrányba kerültek.)
- *A fenntartható fejlődés követelményei* (a gazdasági növekedés és a környezet-terhelés mérséklésének összekapcsolása, a környezetvédelmi iparágak és beruházások priorizálása).

A regionális fejlődés magyarországi elemeinek változataiból két forgatókönyv állítható össze, amelyek alapvetően a területi egyenlőtlenségek szerint különböznek egymástól (Enyedi, 1994a, 1996).

A *közepesen koncentrált forgatókönyv* azon a feltételezésen alapul, hogy a további polarizálódás a '90-es évek végétől megállítható, ugyanakkor az ország mára kialakult területi szerkezetében nem prognosztizál alapvetően pozitív strukturális változásokat.

- A gazdasági szerkezet átalakulását technológiai megújulás kíséri. Az új gazdasági szerkezetet nemcsak az elavult ágazatok (termékek) leépülése, hanem néhány új ágazat jelentős előretörése is jellemzi. Megerősödnek a tudásigényes ágazatok, s a gépkocsigyártáshoz hasonlóan új, multiplikátor hatást kifejtő szakmakultúrák honosodnak meg.
- A mezőgazdaságban szerény mennyiségű, de értékes termékszerkezetű, gazdaságilag jelentős export marad fenn. Kialakul a nagyüzem, a családi vállalkozói farm és a részidős kisgazdaságok hatékony kombinációja.
- A terciér szektoron belül a magas szintű szolgáltatások elsősorban Budapesten fejlődnek, de jelentős regionális központok alakulnak ki. A vidéki nagyvárosok is „kapuszerepet” tölthetnek be saját régiójuk és a szomszédos

határ menti régiók között. A vidéki nagyvárosok egyetemi központjaihoz technológiai-ipari parkok, alkalmazott kutatóhelyek csatlakoznak, amelyeknek iparvonzó és -fejlesztő hatásuk lesz.

- Az országon belüli vándorlások kis léptékűek, inkább régióon belüliek, és ezek erősödő motívuma marad a szakmai mobilitás.
- A hagyományos közlekedési hálózatban megjelennek a régióközi kapcsolatokat szolgáló vonalak: új hidak, vasúti mellékvonalak felújítása. Javul az ország tranzitképessége, kiépül a belföldi légi forgalom. Erősödik a vidéki nagyvárosok szerepe a nemzetközi forgalomban. Újraerősödnek a kelet-európai gazdasági szálak. Magyarország – mint az EU legkeletibb tagja – Ausztria korábbi kelet–nyugati közvetítő szerepét vehetné át. Ez a Dunántúl további felértékelődését jelenti.
- Növekszik a társadalom környezeti érzékenysége. A környezetvédelmi beruházások révén új hazai szakmakultúrák honosodhatnak meg. Az ivóvízellátás és a hulladékelhelyezés növekvő problémaként jelentkezik.
- E forgatókönyv esetén is jelentősek a jövedelmi különbségek, s magas marad a munkanélküliség, de a gazdasági élénkülésnek köszönhetően nem kerül sor tömeges elszegényedésre, és jelentősen előrehalad a polgárosodás.

A *dekoncentrált forgatókönyv* azt feltételezi, hogy a jövőben az ország mára kialakult településhálózati, térségi aránytalanságai, feszültségei lényegesen mérséklyódhetnek. Emögött az a prognózis áll, hogy az újrainduló gazdasági növekedés Nyugat-Európához való felzárkózást indíthat el. Ehhez különösen kedvező körülmények szükségesek: megújuló európai konjunktúra, EU-tagság s ennek következtében jelentős területfejlesztési támogatás, a kelet-ázsiai tőkebefektetők megjelenése, számottevő piacbővülés.

- A gazdasági szerkezetváltás során nem épülnek le teljes iparágak, a technológiai megújulás és az új termékek bevezetése lesz a legfontosabb. A tudásigényes és a „zöld” (környezetbarát) iparágak adják a húzóerőt, de megélénkülnek egyes nehézipari és hagyományos fogyasztási cikkek gyártó iparágak is.
- A mezőgazdaság a kettős piacszerzésnek köszönhetően jelentősen exportorientálttá válik: az EU-n belül magas feldolgozottságú, speciális minőségű termékekkel, Kelet-Európában vetőmag-, tenyészállat-, know-how-exporttal, a termelési rendszerek kiterjesztésével jelentkezik.
- A tercier szektorban – a felsőszintű üzleti szolgáltatások mellett – a közszolgáltatások is fejlődnek, sok új foglalkoztatási helyet teremtenek.
- A népességmozgás (a szakmai mobilitás és az időskorúak vidéki visszaszorulásán kívül) kistérségeken belül marad. A nagyvárosok népessége csökken, agglomerációs gyűrűjük kibővül. Az urbanizációs tengelyek összeépülnek, ezek felé népességvándorlás folyik.

- Az infrastruktúra fejlődésében – az előbbi forгатókönyvekben is feltételezett általános kommunikációs fejlődésen kívül – két új elem várható. Az egyik az ország Budapest-centrikus közlekedési szerkezetét határozottan módosító régióközi összeköttetések (autópályák és hasonló hatású vasútvonalak, repülőterek) és az európai nagy kommunikációs rendszerekbe történő beépülés, a másik a lakásépítésnek a városhálózat nagy részében történő jelentős megélénkülése.
- A nemzetközi integrációs fejlődésben az előző forгатókönyvhöz képest is kedvezőbbek lesznek a gazdasági-integrációs kapcsolatok. Kelet-Európával tehát valódi integrációs szálak alakulhatnak ki.
- Lehetőség nyílik a fenntartható fejlődés elemeinek érvényesítésére, a környezet javuló állapota fontos társadalmi értékévé válik. A gyors gazdasági növekedés a környezeti terhelést is erősen növelheti, s a környezetromboló technikai eljárások alkalmazása sem kizárt.
- A dekoncentrált forгатókönyvben a lakosság életkörülményeinek, társadalmi szerkezetének, jövedelmi színvonalának területi különbségei mérsékeltek. A társadalom differenciált, vannak szegény rétegek, ám a szegények nem koncentrálnak néhány területen: mindenütt olyan kisebbséget jelentenek, amelyet a helyi politika megfelelően tud segíteni. A véglegesen leszakadónak tűnő, marginális területek népessége elfogy, a kedvezőtlen életfeltételek kevés embert sújtanak.

A regionális fejlődést befolyásoló tényezők alapján megrajzolható az új század első évtizedének végére kialakítandó optimális térszerkezet, megfogalmazható az ennek eléréséhez szükséges feladatok. A jövőkép vázolásához a korábban említett folyamatokon kívül célszerű figyelembe venni az európai integráció várható hatásait is: egyrészt az európai tér kohéziójának erősítését szolgáló programok várható hatásait (*Europe 2000+*, *European Spatial Development Perspective*, *CADSES Vision Planet*), másrészt a magyar EU-tagsággal járó strukturális támogatások jelentős forrásnövelő szerepét. E szempontokat érvényesítendő, az Országos Területfejlesztési Kon koncepció alapján megfogalmazható az ország térszerkezetének kívánatos textúrája, az ezt alkotó elemek kapcsolódási pontjai a közép-európai régiókkal és az európai területi munkamegosztás különböző egységeivel.

A magyar gazdaság területi jövedelemtermelő képességének markáns különbségeit jelentős részben az ipari termelés regionális eltérései okozzák. Az iparvállalatok szervezeti átalakulása, privatizációja, a külföldi tőke közreműködése, a vállalati versenyképesség, az exportpotenciál éles differenciákat mutat az ország magterületei (Budapest, Észak-Dunántúl) és perifériái (Alföld, Dél-Dunántúl) között. A történelmi iparvidékeken a dezindusztrializáció tartós szerkezeti válságot generált. Néhány régióban a sikeres ipari újjászervezés nem átgondolt fejlesztési stratégia, hanem nagyrészt multinacionális nagyvállalatok egyedi döntései alapján zajlik.

A magyar iparpolitika mindeddig nem fogalmazott meg regionális prioritásokat, elveket. Az *iparpolitika* regionális metszete természetesen nem a tervgazdaság telepítéspolitikájának a felelevenítését jelenti, hanem:

- egyrészt olyan eszközrendszer alkalmazását, amely lehetővé teszi, hogy a versenyképes ipari termelés különböző feltételei (innováció-fejlesztés, képzett munkaerő, a termékértékesítés korszerű eszközei, műszaki infrastruktúra stb.) az egyes régiókban rendelkezésre álljanak, az ipar egy térség erőforrásait mozgósíthassa, multiplikátor hatásai érvényesülhessenek;
- másrészt olyan intézményrendszer kiépítését foglalja magába, amely képes az általános iparfejlesztési célokat közvetíteni és a regionális sajátosságok alapján azokat megvalósítani;
- harmadrészt olyan szervezési elvek és módszerek alkalmazását foglalja magába, amelyek a belső regionális erőforrások komplex hasznosítását, a területfejlesztés szereplőinek összehangolását, az új iparszervezési elvek (a hálózatos gazdaság és a klaszterizáció) érvényesítését célozzák.

A regionális iparpolitikának ez a decentralizált felfogása, a területfejlesztési programokba való szerves beágyazottsága érvényesül ma az Európai Unió tagállamaiban, ezt a felfogást ösztönzik az Európai Unió regionális és strukturális politikai támogatásai is. Míg Magyarországon a '90-es évtizedben az egyébként szinte elenyésző területfejlesztési támogatások 30%-a szolgált a munkahelyteremtést (s becslésünk szerint ennek csupán fele-harmada volt ipari jellegű), Nyugat-Európában a közösségi strukturális alapok 30–50%-át fordítják termelésfejlesztésre, 25–40%-át pedig jórészt az előbbi tevékenységhez kapcsolódó humán erőforrás-fejlesztésre. Az Európai Unió tagállamainak regionális fejlesztési szervezeti (köztestületek, ügynökségek, fejlesztési társulások stb.) hosszú és középtávú iparpolitikai elképzeléseket is tartalmazó regionális fejlesztési stratégiákat és koncepciókat valósítanak meg, Magyarországon a területfejlesztési és -rendezési törvény után létrejött „decentralizált” intézmények (a kötelezően megszervezett megyei területfejlesztési tanácsok és az önkéntesen szerveződő regionális fejlesztési tanácsok) pillanatnyi csoportérdekek alapján döntenek. Az EU Bizottságának Magyarországról készült jelentése – elismerve a regionális politikában tett erőfeszítéseket – is kritikusan szól a regionális intézményrendszer kialakulatlanságáról, a gyenge ágazatközi koordinációról és az erőtlen regionális politikai eszközökről.

Az előcsatlakozás időszakában Magyarországon is meg kell alapozni – a területfejlesztési törvény, az Országos Területfejlesztési Koncepció szellemében, az Európai Unió Strukturális Alapjai felhasználásának követelményeit figyelembe véve – a regionális iparpolitika cél-, eszköz- és intézményrendszerét, a Nemzeti Fejlesztési Terv regionális fejezeteit.

Magyarország térszerkezetének jövője alapvetően azon múlik, hogy az integrációs csatlakozás utáni új források felhasználásában milyen decentralizációs

stratégiát követ majd az ország. Miként már említettük, Magyarország számára a teljes decentralizáció kínálja a leghatékonyabb megoldást. E modell alkalmazásának kulcskérdése a széles körű autonómiával rendelkező, választott testületek által irányított *közigazgatási régiók* kialakítása. Régiókra Magyarországon azért lesz szükség, mert az európai területfejlesztés gyakorlata egyértelműen bizonyította, hogy a körülbelül 1,5–2,0 millió fős népességet felölelő, önkormányzati elvek alapján irányított szubnacionális szint, a régió gazdasági kapacitásai és strukturális adottságai folytán:

- a gazdaságfejlesztési orientációjú regionális fejlesztési politika érvényesítésének optimális térbeli kerete,
- a posztindusztriális térszervező erők működésének és ezek kölcsönkapcsolatai fejlesztésének megfelelő terepe,
- az érdekérvényesítés fontos színtere,
- a regionális politika modern infrastruktúrájának és professzionális szervező-tervező-végrehajtó apparátusának kiépítéséhez a legmegfelelőbb méretű térbeli egység,
- az Európai Unió regionális és kohéziós politikai döntési rendszerének meghatározó eleme.

A decentralizált (vagy regionális) államszervezeti rendszer szerves fejlődéssel, komplex jogi szabályozás nyomán alakulhat ki. Az ennek előfeltételeit megteremtő elveket az alkotmányban célszerű rögzíteni, nevezetesen:

1. Az állam fejlesztőtevékenységében, gazdaságpolitikájában épít a területi adottságok és a térelemek közti kölcsönkapcsolatokra és törvényszerűségekre, ezek hasznosítása révén a társadalmi alapfunkciók gyakorlásához biztosítja a szükséges feltételeket.
2. Az állam a társadalmi méltányosság és igazságosság elvét érvényesítve saját eszközeivel közreműködik az életkörülményekben megmutatkozó objektív területi különbségek mérséklésében.
3. Az állam aktív regionális politikája elősegíti a gazdasági tevékenységek és funkciók területi decentralizálását;
4. Az állam regionális politikai feladatait és eszközeit megosztja az önkormányzatokkal, a területi koordinációs jogosítványokat és fejlesztési forrásokat a regionális önkormányzatokhoz delegálja.

A regionális önkormányzat intézményi struktúrájára több alternatíva képzelhető el. A lehetséges változatok közül választást az befolyásolja, hogy milyen alkotmányos pozíciókat szán a politikai döntéshozó a régióknak: korlátozott, meghatározott stratégiai jellegű feladatokra koncentrált funkcióik kijelölésekor, vagy pedig széles irányítási jogkörökkel rendelkező területi egységek létrehozására törekszik; milyen választási rendszer alapján szerveződnek meg a regionális testületek; miként alakul finanszírozási rendszerük, lesz-e adóketési joguk;

milyen elvek alapján működjön a régiók jogszabályalkotása; milyenek lesznek kapcsolataik a települési és a megyei önkormányzatokkal.

A *régióépítés intézményesítésében* három szakaszt célszerű elkülöníteni. Az első fázis a területfejlesztés törvényi szabályozásával már kezdetét is vette: a regionális fejlesztési tanácsok – ha megfelelő pénzügyi forrásokhoz jutnak, és személyi állományuk is megerősödik – stratégiai koordinációs feladatokat láthatnak el térségük fejlesztési programjainak kidolgozásában és a területfejlesztési támogatások felhasználásában. Ez az egyáltalán nem ideális szervezeti megoldás azonban alkalmas lehet arra, hogy a területfejlesztés szereplői elsajátítsák a regionális politika működésének alapszabályait, gyakorlatra tegyenek szert a partneri együttműködés szervezésében, saját szervezeti rendszerüket is felkészíthessék a regionális fejlesztésekben való közreműködésre. Ez a viszonylag rövid átmeneti szakasz az előcsatlakozás végén befejeződné.

A második szakasz – a közjogi régió megszervezése – az Európai Unió teljes jogú tagságával kezdődik. A régió e formája kezdetben még nem jelent jogalkotási szabadságot, csupán a központi kormány hatásköréből átadott feladatok végrehajtásának felelősségét és eszközeit decentralizálják. A régióban választott testület alakul, emellett szakapparátus működik. Ebben – az új európai programozási időszak kezdetéig, 2007-ig terjedő – szakaszban átalakulnak az állami területi dekoncentrált szervek is, új struktúrájuk a közigazgatási régiókhoz igazodik, feladataik egy részét a megyei vagy a regionális önkormányzatok integrálják.

A teljes jogú tagság első teljes programozási időszakát Magyarország az európai gyakorlattal kompatibilis decentralizált állami berendezkedés keretei között kezdi meg. Az irányítási funkcióiban megújult állam, a jogalkotási felelősséggel felruházott regionális és megreformált megyei és helyi önkormányzatok a közös feladatra, Magyarország térszerkezetének modernizálására összpontosíthatják erőforrásaikat.

Az imént vázolt forgatókönyv kérdéseit megválaszolandó, már ma is folynak kutatások Magyarországon. Vannak azonban szép számmal olyan kérdések is, amelyekre ma még megnyugtató válaszok nem adhatók, *új kutatási irányok* megfogalmazására van szükség:

- Mivel az ország térszerkezetének modernizálása elválaszthatatlan a belső regionális kohézió erősítésétől, vizsgálni célszerű a regionalizmus fejlődésének gazdasági, kulturális, politikai tényezőit. Már ma is érzékelhető a regionális kezdeményezésű fejlesztési politika igénye (pl. a Dél-Dunántúlon). Az állam területi feladatait várhatóan szervezetileg koncentrálni, a belső erőforrásokon nyugvó fejlesztési paradigma térhódítása nyomán a területi közösségek és a központi hatalom közötti érdekellentétek élesebbé válhatnak, az európai hálózatos gazdaságokba való bekapcsolódás új területi érdekeket alakíthat ki. Mindezek a ma már előre látható folyamatok a regionális

együttműködés iránti igényt fokozzák. Eszközöket, szervezeti megoldásokat kell ajánlani a regionalizmus pozitív következményeinek erősítésére, az esetleges negatív hatások mérséklésére.

- Az új területfejlesztési rendszer Magyarországon is megsokszorozza a fejlesztési feladatok számát, bővíti a szereplők körét, a finanszírozás forrásait. Meg kell vizsgálni tehát az intézményrendszer elemeinek szerkezetét, működési szabályait, kompetenciáját abból a szempontból, hogy elegendő szervezőerőt képviselnek-e. A területfejlesztési szereplők többségének belső működési rendje, hatáskörei ma még nem alkalmasak a nyugat-európai típusú partnerkapcsolatok szervezésére. Talán a települési önkormányzatok leginkább felkészültek a területfejlesztési programokban való közreműködésre, bár a nagyvárosi önkormányzatok hivatali szervezete, közgyűléseik bizottsági szerkezete még nem felel meg az e településeken adódó differenciált feladatoknak. A megyei önkormányzatok csupán szerény szereplői, de nem meghatározó irányítói lehetnek az együttműködésnek. A szervezetük kiépítésével foglalkozó kamarákat sem lehet ma még dinamizáló erőnek tekinteni. A regionális fejlesztési tanács tehát nem lesz könnyű helyzetben, a benne részt vevő partnerek a területfejlesztési támogatások megszerzésében, nem pedig saját erőforrásaik egyesítésében lesznek érdekeltek. Az együttműködést befolyásoló tényezők feltárása, a partnerség természetrajza fontos kutatási feladat.
- A gazdaság szerkezeti átalakulásában új tényezők jelentik a hajtóerőt, a gazdasági tér nemzetközivé válása, a versenyfeltételek változása növeli a fejlett szolgáltatások iránti igényt, és új eszközök alkalmazását teszi szükségessé. Választ kell keresni e posztindusztriális térformáló erők hazai elterjedésének ösztönzésére, újra kell vizsgálni a növekedési központok elmélete érvényesítésének lehetőségeit, az innovációs lánc regionális alapelemeinek kiépítését.
- Eközben folyamatosan bővíteni kell tudásunkat a gazdaság térbeli átrendeződéséről is. A változások dokumentálásának, az átalakulás várható irányait prognosztizáló regionális tudományos elméletek és modellek kidolgozásának nagy gyakorlati hasznuk lehet. Ahhoz, hogy a folyamatokat a siker reményével lehessen a regionális politika eszközeivel befolyásolni, tudni kell, hogy ténylegesen mi történik.

Irodalom

- Amin, A. – Thrift, N. (szerk.): *Globalisation, Institutions, and Regional Development in Europe*. Oxford, Oxford University Press, 1994.
- Amin, A. – Thrift, N.: Globalisation, institutional „thickess” and the local economy. In Healey, P. – Cameron, S. et al. (szerk.): 1995, 91–108.

- Amin, A. – Tomaney, J.: The regional dilemma in a neo-liberal Europe. *European Urban and Regional Studies*, 1995, 2, 171–188.
- Conti, S. – Spriano, G.: *Effetto città. Sistemi urbani e innovazione: prospettive per l'Europa degli anni Novanta*. Fondazione G. Agnelli, Torino, 1990.
- Enyedi, Gy. 1994a: Regional and urban development in Hungary until 2005. In Hajdú Z.–Horváth Gy. (szerk.): 1994, 239–253.
- Enyedi Gy. 1994b: Új regionális folyamatok a poszt szocialista Kelet-Közép-Európában. – *INFO Társadalomtudomány*, 1994, 29, 59–69.
- Enyedi Gy.: *Regionális folyamatok Magyarországon az átmenet időszakában*. Hilscher Rezső Szociálpolitikai Egyesület, Budapest, 1996.
- Esman, M. J. (szerk.): *Ethnic Conflict in the Western World*. Ithaca, Cornell University Press, 1977.
- Faragó L.: Posztmodern: a modernizáció kritikája avagy új kihívás. *Tér és Társadalom*, 1991, 4, 1–16.
- Gourevitch, P.: *Paris and the Provinces*. Berkeley, University of California Press, 1980.
- Hajdú, Z. – Horváth, Gy. (szerk.): *European Challenges and Hungarian Responses in Regional Policy*. Pécs, Centre for Regional Studies, 1994.
- Healey, P. – Cameron, S. – Davoudi, S. et al. (szerk.): *Managing Cities. The New Urban Context*. Chichester, John Wiley and Sons, 1995.
- Horváth Gy. (szerk.) 1993a: *Régiók és városok az olasz modernizációban*. Régiók Európa 1. Pécs, MTA Regionális Kutatások Központja, 1993.
- Horváth, Gy. (szerk.) 1993b: *Development Strategies in the Alpine-Adriatic Region*. Pécs, Centre for Regional Studies, 1993.
- Horváth Gy. (szerk.): *Régiók felemelkedése és hanyatlása. Regionális átalakulás a Brit-szigeteken*. Régiók Európa 2. Pécs, MTA Regionális Kutatások Központja, 1997.
- Johnson, H. G. (szerk.): *Economic Nationalism in Old and New States*. London, Allen and Unwin, 1968.
- Jones, B. – Keating, M. (szerk.): *The European Union and the Regions*. Oxford, Clarendon Press, 1995.
- Joó R.: *Etnikumok és regionalizmus Nyugat-Európában*. Gondolat Kiadó, Budapest, 1984
- Keating, M.: *State and Regional Nationalism. Territorial Politics and the European State*. London, Harvester-Wheatsheaf, 1988.
- Keating, M.: What's wrong with asymmetrical government? *Regional and Federal Studies*, 1998, 1, 195–218.
- King, A. D. (szerk.): *Culture, Globalisation and the World System*. London, Macmillan, 1991.
- Momper, N.: *Schéma européen d'aménagement du territoire*. Strasbourg, Conseil de l'Europe, 1991.
- Pickvance, C. – Preteceille, E.: *State Restructuring and Local Power: A Comparative Perspective*. London, Sage, 1991.
- Rokkan, S. – Urwin, D. (szerk.): *The Politics of Territorial Identity*. London, Sage, 1982.
- Sharpe, L. J.: *Decentralist Trends in Western Democracies*. London, Sage, 1979.
- Smith, A. D.: Towards a global culture? *Theory, Culture and Society*, 1990, 1, 171–191.
- Späth, L.: 1992 – *Európa álma*. Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó, Budapest, 1991.
- Stöhr, W. B. (szerk.): *Global Challenge and Local Response*. London, Mansell, 1990.
- Tóth K. (szerk.): *Kelet-Európa új alkotmányai*. Szeged, JATE Állam- és Jogtudományi Kara, 1997.
- Trends in Regional Policies in OECD Countries*, Paris, OECD, 1997.
- VASAB, *Vision and Strategies around the Baltic Sea 2010*. Tallin, Third Conference of Ministers for Spatial Planning and Development, 1994.
- Wehling, H. G. (szerk.): *Regionen und Regionalismus in Westeuropa*. Stuttgart, Kohlhammer Verlag, 1987.

FIZIKAI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYA

**SUGÁRVÉDELEM ÉS IZOTÓPTECHNIKA
SZILÁRDTESTFIZIKA ÉS FIZIKAI ANYAGTUDOMÁNYOK
A STATISZTIKUS FIZIKA ÚJABB EREDMÉNYEI**

MARX GYÖRGY

Nukleáris hulladékok végleges elhelyezése

Éghajlati instabilitás

Ezen a májusi akadémiai közgyűlés idején 44–47 °C rekordhőmérsékleteket mértek Indiában, aminél az emberi test már nem képes hőt leadni (nem szabadulhat meg a termelt entrópiától): amiatt ott pár nap alatt 72 ember vesztette életét. A meteorológiai följegyzések kezdete (1856) óta 1998-ban volt legmagasabb bolygónk átlaghőmérséklete: 0,57 °C-kal volt az 1960–1990 közötti évek átlaga fölött. De még ezt is túlszárnyalta 1999, majd 2000. Márpedig ha bolygónk melegszik, ez a trópusokon erősebb párolgást (aszályt) jelent. A vízhiány újabb konfliktus forrása Izrael és Jordánia között. Indonéziában ismét lángolnak a kiszáradó erdők, füsttel árasztva el Malajziát is. Az erősebb párolgás miatt intenzívebbé válik a víz körforgása. Az elpárolgott víznek valahol le kell hullania, nyilván ott, ahol hidegebb van. Északon a kiterjedtebb hótakaró több napfényt ver vissza, fokozottabb lehűlést idézván elő. A növekvő hőmérséklet-különbség destabilizálja az atmoszférát. A forró és hideg légtömeg találkozásának következményei a tavaszi orkánok (Oklahoma), árvizek (Banglades), amik világszerte jelentkeznek – és számunkra is ismerőssé váltak.

A globális fölmelegedést a Greenpeace International az emberiséget most leginkább fenyegető jelenségnek ítélte. Elsődleges kiváltója a légkör fokozódó széndioxid-koncentrációja: a CO₂ átengedi a napfényt, de elnyeli-visszatartja a talaj infravörös sugárzását, így melegítvén az alsó légkört, akárcsak a kertészek üvegháza vagy a lezártan napon hagyott autó ablaküvege. Az utolsó jégkorszakban (10 000 éve) 0,018% volt a CO₂-koncentráció, 1400 és 1800 közt (anktarktiszi jég rétegek légbuborékainak tanúsága szerint) 0,028%, majd az ipari forradalom hatására emelkedni kezdett: 1900-ban már 0,030%, 1960-ban 0,032%, 1999-ben pedig 0,036%, ami kétszerese a jégkorszaki értéknek, és 20%-kal nőtt (egyre gyorsulva) a 20. század során. A szén-, olaj-, gáztüzelés révén évente 30 milliárd tonna jut a légkörbe, ami a légkör CO₂-tartalmának 2%-a. (Ha a ma működő atomerőműveket szén-erőművekkel helyettesítenék, a kibocsátás 32 milliárd tonna volna évente.) Nehéz kikerülni a következtetést, hogy a levegő CO₂-tartalma meg

fog duplázódni a 21. század folyamán. Az Európai Unióban az egy főre jutó évi CO_2 -emisszió 9 tonna. Ennek mintegy harmada származik erőművektől, harmada közlekedéstől, harmada háztartásoktól (fűtés-főzés).

Magyarország erdői évente 8 millió tonna oxigént termelnek. Hazánk lakói légzésük során évi 8 millió tonna oxigént fogyasztanak, nem is szólva a fosszilis tüzelők égetésével dolgozó iparról, erőművekről, járművekről. Ha a Paksi Atomerőművet szénerőművel helyettesítenék, ez további 10 millió tonna oxigént vonna ki. Paks tehát „zöldebb” oxigénkímélő, mint a magyar erdők! (Hazánk évente összesen 60 millió tonna CO_2 -t termel, ebben a fosszilis erőművek járuléka 20 millió tonna. Ha Paksot szénerőmű váltaná fel, ez további 14 millió tonna CO_2 kibocsátását jelentené.)

Márpedig energiafogyasztásunk nő: 1999 januárjában 10%-kal többet fogyasztottunk, mint egy évvel korábban. Befűtünk magunknak, és elázunk...

Kis aktivitású hulladék

Magyarországon egy emberre évente 6 tonna CO_2 , 25 kg veszélyes kémiai hulladék, 15 dkg közepes aktivitású és 2 dkg magas aktivitású nukleáris hulladék jut. Igaz, az utóbbiak maguktól is bomlanak. Mégis erről a radioaktív hulladékról esik legtöbb szó – még az Akadémián is. Hová tegyük?

Pakson évente 300 m³ kis és nagy aktivitású radioaktív hulladék keletkezik; más forrásból (kórházak, radioizotópok műszaki felhasználása) ehhez jön még 20 m³. A Paksi Atomerőmű 30–50 éves működése során ez összesen 20 000 m³ üzemviteli hulladékot jelent. A négy kiöregedett reaktor leszerelési hulladéka további 20 000 m³ lesz. Fél évszázadon át mindet összehordva, egy 40 m · 40 m · 40 m méretű kockát alkotna, akkorát mint egy jókora domb. A radioaktív hulladék ionizáló sugárzás révén ártalmas is lehet. Hová tegyük?

A Nemzetközi Sugárvédelmi Bizottság és a Nemzetközi Atomenergia Ügy-nökség által ajánlott dóziskorlátok a következők:

atomipari dolgozó sugárdózisa, egyszeri maximum legfeljebb	50 mSv/év
atomipari dolgozó sugárdózisa, évi átlag legfeljebb	20 mSv/év
lakos természetes dózisa, magyar átlag	3 mSv/év
lakosság átlagdózisa orvosi kezelésektől közel	1 mSv/év
lakos műszaki okokból kapható egyszeri dózisa legfeljebb	1 mSv/év
hulladékelhelyezéstől maximálisan kapható legfeljebb	0,1 mSv/év.

Mekkora kockázatot jelentene a maximálisan megengedhető 0,1 mSv/év? Mint-ha havonta elfüstölne fél cigarettát...

A nem túlságosan magas aktivitású hulladékokat eddig Püspökszilágyon helyezték el felszínközeli löszben. A tárolótérfogát 5000 m³, ami lassacskán betelik.

Az atomerőmű üzeme során a reaktoron kívül alacsony és közepes aktivitású hulladék gyűlik össze, ennek fajlagos aktivitása nem lehet nagyobb, mint 1 millió

bomlás/kg=1 MBq/kg. Ezt el lehet helyezni felszín közeli jó vízzáró agyagban is (pl. Franciaország, Spanyolország) vagy mély gránitban (Finnország, Svédország). Az ennél aktívabb, magas aktivitású hulladék mélységi elhelyezését tervezik (USA).

Foglalkozunk először az alacsony és közepes aktivitású üzemviteli hulladékkal!

Ezeket Pakson (például cementesítve) 200 literes acélhordókba teszik. Maghasadás és neutronaktiválás során keletkezett radioizotópok vannak benne, hordónként van például

¹¹⁹ Ag (1 év felezési idő)	átlag 20 MBq (maximum 400 MBq)
⁶⁰ Co (5 év felezési idő)	átlag 60 MBq (maximum 900 MBq)
¹³⁷ Cs (40 év felezési idő)	átlag 1 MBq (maximum 50 MBq)
összesen	átlag 200 MBq (maximum 6000 MBq).

(Hosszabb felezési idejű izotópok mennyisége nem számottevő.) A hatósági előírás szerint a biztonságos elhelyezést a leghosszabb felezési idő hússzorosáig, tehát esetünkben 600 évre meg kell oldani. Számoljunk egy kicsit: $2^{10} = 1012$, tehát 20 felezési idő után a radioaktív atommagoknak csak milliomod része marad meg. Ha tehát egy hordó kezdeti aktivitása – mondjuk – 1000 MBq, az 600 év alatt 1000 Bq-re csökken (még ha pesszimistán 30 év felezési idővel számolnánk is). A hordó tömege 1000 kg lehet, tehát 600 év múltán csak 1 Bq/kg fajlagos aktivitás marad, ami teljesen ártalmatlan. (Az ajkai szén urán és ⁴⁰K okozta aktivitása 500 Bq/kg, az elégetése révén keletkező füstpernyéé 3500 Bq/kg. Az élő emberi test aktivitása 8000 Bq fölött van. Mégsem félünk egy másik embert megérinteni...)

Naponta négyhordónyi közepesen aktív szemét keletkezik, amit 600 évre kell elraktározni. Megkérdezték a geológusokat: hol? Több hely szóba jött: Udvariban felszíni löszben. Üveghután 200-300 m mélyen gránitban. Itt, Pakshoz közel, Tolna megyében van egy közel 1 km³ nagyságú gránittömb, ami jó 12 millió éve elmászott ugyan 40 km-t, de az utóbbi 10 millió évben áll; földrengés szempontjából hazánk egyik legnyugodtabb vidéke. A közelben fakadó vizek 10 000 évesek, a jégkorszakban hullott esőből származnak. Így a 600 éves tárolást a csomagolás (cementesítés acélhordóban), műszaki elzárás és geológiai elzárás háromszorosan garantálhatja. A Paksi Atomerőmű a Nukleáris Alapba évente mintegy 10 milliárd forintot fizet be. Geológiai kutatásra 1,5 milliárdot költöttek. A közepes aktivitású hulladék üveghutai mélységi tárolójának teljes kiépítése (akár már 2003-ra) mintegy 15 milliárdba fog kerülni. Ezt a tervet elfogadja a környező falvak lakossága – gazdasági föllendülésük reményében. A kivitelezés megkezdése parlamenti elfogadásra vár.

Nagy aktivitású hulladék

Az elhasznált fűtőelem nagy aktivitású hulladék: egy rúd (kazetta) aktivitása 10^{15} Bq. Ezeket négy évig a reaktorok mellett kialakított, áramló vízzel folyamatosan hűtött tartályokban pihentetik, míg aktivitásuk csökken. Mi legyen velük ezután?

A rudak aktivitása nagyrészt a hasadványoktól származik. Az uránmagban a neutronok aránya 65%, a feleakkora hasadványmagok egyensúlyi neutronaránya viszont csak 55%. Ezért a hasadványok erősen β -aktívak. Felezési idejük 30 év (^{90}Sr , ^{137}Cs) vagy rövidebb. Ezek tárolását elég volna 600 évre (20 felezési időre) biztosítani, míg aktivitásuk a milliomodrészére csökken. Van ugyan olyan hasadvány is, mint a ^{99}Tc vagy az ^{129}I , aminek millió éves a felezési ideje, de ezek mennyisége csekély.

A rudak anyagának java részét kitevő ^{238}U az atomreaktorban neutronokat fog be, így belőlük transzuránok keletkeznek: neptunium, plutónium, americium... Ezek α -bomló elemek, amelyek felezési ideje több ezer év is lehet, ezért a használt fűtőelemrudakat 100 000 évre kell biztonságosan elhelyezni, ami már más méretarányú feladat. Lehetséges opciók:

A) A rudakat 4 év víz alatti tárolás után vasúton visszaszállítják Oroszországba. A korábbi években ezt az eljárást követték. Az oroszok várják is a rudakat (és kilónként 600 dollárt kérnek visszafogadásukért), meg tiltják is (duma-határozatra hivatkozva). Ez az opció kényelmes ugyan, de nem garantált.

B) Négy év alatti tárolás után földfelszíni átmeneti tárolóban helyezik el 50 évre. A radioaktív anyag hűtését nem motor végzi, hanem hőmérsékletkülönbség által hajtott automatikus légcirkuláció, bármikor ellenőrizhető körülmények között. (Ezeket az átmeneti tárokat angol cég építette a Paksi Atomerőmű területén.) Ötven év elteltével ezeket a nagy aktivitású anyagokat majd véglegesen eltemetik hazánk területén. Egyik jelölt hely a mecseki uránbányához csatlakozóan talált Bodai Agyagtömb, 200-300 m mélységben. Ennek megkutatása az uránbánya bezárása után most is folytatódik.

C) A használt fűtőelemekben még sok nukleáris energia maradt vissza. Tudományosan és gazdaságilag azok újrafeldolgozása (reprocessálása) látszik ideális megoldásnak. A fűtőelemeket savban feloldják, majd elektrolízissel szétválasztják hasadványokra (kis Z rendszám), uránra ($Z = 92$) és transzuránokra ($Z > 92$).

Az urán teszi ki a tömeg nagy részét. A ^{238}U alacsony aktivitású, akár vissza is lehet tenni a bányába, oda, ahonnan kibányászták.

A hasadványokat el lehet temetni föld alá 600 évre, mint arról korábban beszéltünk. (A reprocessálás révén az elhelyezendő térfogat számottevően csökken.) Ha tetszik, a nagyon kis mennyiségű, hosszú élettartamú hasadványokat (Tc, I) kémiaileg el lehet különíteni, hosszabb időskálájú tárolásra.

Kiemelt figyelmet a transzuránok kívánnak. A neptúnium vízben nagyon jól oldódik, különösen hajlamos megszökésre, ezért egyesek nem szeretik eltemetni. A plutóniumtól meg a politikusok félnek: ha mód van kémiai kinyerésükre, akkor belőle akár atombombát is lehet gyártani. (Reaktorplutóniumból ugyan nem könnyű bombát csinálni a nem hasadó, viszont neutronelnyelő ^{240}Pu magas koncentrációja miatt, de lehet.) A további transzuránokkal a fő gondot nagyon hosszú élettartamuk jelenti. A plutónium-hisztéria miatt például Amerikában beszüntették a „polgári” fűtőelemek reprocessálását. Nem szabad elfelejtenünk, hogy minden transzuránatommag magas energiatartalmú; ha elhasítanók, a két hasadványt szétvető elektromos tasztítás energiát termelne. Ezért Amerikában folyik a következő transzmutációs üzem építése: lineáris gyorsítóval nagy (0,1 amper) áramerősségű, magas energiájú protonnyalábot állítanak elő. Ezt alkalmas céltárgyra irányítva, nagy energiájú neutronokat nyernek. A nagy energiájú neutronokat a transzuránokra vezetik. Ezek a gyors neutronok az atommagokat elhasítják, nukleáris energiát szabadítva föl. Az így termelt hővel gőzturbinát hajtanak, ami villanyt termel. A nyert elektromos energia 10%-a elég a protongyorsító üzemeltetésére, a többi eladható, hálózatba vezethető. Ez a rendszer – ha egyszer megépült – végeredményben gazdaságosan megszabadít a transzuránoktól. Rövid felezési idejű hasadványok maradnak vissza, amelyekre csak 600 évig kell vigyázni. Politikailag sem veszélyes a rendszer, mert a kiégett anyagban a plutóniumnak csak 0,05%-a maradt vissza.

Mint arról Mezei Ferenc „első kézből” beszámolt, a transzmutációs berendezés prototípusának építése Los Alamosban néhány éven belül befejeződhet. Így a nagy aktivitású (radiológiaiilag és politikailag) veszélyes hulladék problémája megoldódhat. Igaz, hogy reprocessáló-transzmutáló rendszer megépítése nagyszabású és költséges műszaki vállalkozás, amibe hazánk önmaga nem foghat bele. Az atomenergia-termelés transzmutációs záróberendezését nemzetközi összefogással lehet megépíteni, nemzetközi ellenőrzéssel kell üzemeltetni. Elkészülte után viszont már gazdaságos, mert benne a használt fűtőelemek energia-kinyeréssel „eltűzelhetők”, a maradvány pedig hazahozható és 600 évre gránitba temethető.

Mindez reális lehetőség, de még nem műszaki-politikai-gazdasági realitás. Az elhasznált fűtőelem-kazetták még úgyis évtizedekig pihennek az átmeneti tárolóban, amíg kényelmesen szállíthatóvá-feldolgozhatóvá nem „hűlnek”. Van idő megismerni-kitanulni-kivárni az új technikát.

Azért minden (jó és rossz) lehetőségre készen folyik hazánkban a mai technológiai szinten már megoldható B opció végigvitele: a Bodai Agyagtömb kutatása.

VAJDA NÓRA, BÓDIZS DÉNES,
MOLNÁR ZSUZSA, JERZY W. MIETELSKI

Radioizotópok terjedésének nyomon követése talajban

Bevezetés

Radioizotópok nukleáris létesítményekből és sugárforrásokból, véletlenül vagy szándékos emberi tevékenység révén kerülnek a környezetbe, a talajba. Terjedésük kísérleti úton nyomon követhető helyszíni mérésekkel és/vagy mintavételes laboratóriumi vizsgálatokkal.

A két, gyakran egymást kiegészítő módszer között számos különbség van célkitűzését, tárgyát, eszközeit, jellemzőit illetően. A helyszíni monitorozás célja a kontamináció – lehetőleg gyors – felismerése, a laboratóriumi mérések során pedig a szennyezettség részletes feltérképezésére, pontos és érzékeny minőségi és mennyiségi elemzésére törekednek. Az analitikai eredmények képezik a dózisszámítások céljára felhasznált adatokat, továbbá hozzásegítenek a szennyezés eredetének azonosításához, mert a kontamináció magán hordozza a kibocsátó forrás jellegzetességeit, „ujjlenyomatát”. A nagy érzékenységgű analitikai módszerekkel radioizotópok szivárgásának viszonylag korai előrejelzésére is lehetőség kínálkozik. A helyszíni mérések általában rövid felezési idejű gamma-sugárzó izotópok kimutatására irányulnak, a laboratóriumi vizsgálatok tárgyát pedig alapvetően a hosszú felezési idejű nuklidok képezik, függetlenül a bomlási módjuktól. Érdemes megjegyezni, hogy a nukleárisüzemanyagciklus egy évnél hosszabb felezési idejű izotópjai között csak elvétve akad olyan, melynek könnyen mérhető gamma-sugárzása van, mint a ^{137}Cs , ^{134}Cs és ^{60}Co nuklidoknak, a többség tisztán alfa-, béta-bomló vagy elektronbefogó (E. C.) (lásd. az 1. táblázatban).

Míg a monitorozáshoz dózisteljesítmény-mérőket és gamma-spektrométereket (ma már egyre elterjedtebben hordozható félvezető detektorral ellátott analizátorokat) használnak, addig a laboratóriumokban a korszerű radionuklidelemzések teljes eszköztárát felvonultathatják, beleértve az alfa-, béta- és gamma-spektrométereket, a tömegspektrométereket, a neutronaktivációs analízist, továbbá radio-

Az üzemanyagciklus fontosabb, hosszú felezési idejű radioizotópjai

Izotóp	Bomlási idő	Felezési idő (év)
Hasadási termékek		
¹³⁷ Cs	β, γ	30
¹³⁴ Cs	β, γ	2,06
⁹⁴ Nb	β, γ	2,3·10 ⁴
¹²⁶ Sn	β, γ	1·10 ⁵
⁸⁵ Kr	β, γ	10,72
¹³⁵ Cs	β	2,3·10 ⁶
⁹⁰ Sr	β	28,2
¹²⁹ I	β	1,57·10 ⁷
⁹⁹ Tc	β	2,13·10 ⁵
⁹³ Zr	β	1,53·10 ⁶
Aktinidák		
²⁴¹ Am	α, γ	432,2
²²⁸ Th	α	1,91
²³⁰ Th	α	7,54·10 ⁴
²³² Th	α	1,405·10 ¹⁰
²³⁴ U	α	2,457·10 ⁵
²³⁵ U	α	7,038·10 ⁸
²³⁸ U	α	4,470·10 ⁹
²³⁷ Np	α	2,141·10 ⁶
²³⁸ Pu	α	87,74
²³⁹ Pu	α	2,411·10 ⁴
²⁴⁰ Pu	α	6563
²⁴¹ Pu	β	14,4
²⁴⁴ Cm	α	18,1
²²⁶ Ra	α	1600
Aktiválási termékek		
⁶⁰ Co	β	5,27
³ H	β	12,35
¹⁴ C	β	5730
³⁶ Cl	β	3,08·10 ⁵
⁵⁵ Fe	E. C.	2,7
⁵⁹ Ni	E. C.	7,5·10 ⁴
⁶³ Ni	β	96

kémiai eszközökkel növelhetik a nukleáris mérési módszerek érzékenységét, természetesen ezzel együtt az idő- és munkaigényesség is nő.

Az alábbiakban néhány példát mutatunk be a Budapesti Műszaki Egyetem Nukleáris Technikai Intézetében végzett vizsgálatok közül hosszú felezési idejű urán-, plutónium- és ameríciumizotópok elemzésére és ezek alapján végzett „ujjlenyomat”-vizsgálatra.

Mérési módszer

Az uránizotópokat tartalmazó mintát – ^{232}U nyomjelző adagolása után – ásványi savakkal többször szárazra párolva feltárjuk, majd 1-2 Mmólos sósavban feloldjuk. Az esetleges oldási maradékot szűrővel távolítjuk el, az uranilionokat vas(III)-hidroxidon koncentrálnak. Az uranil-klorid komplex anionokat 9 M sósavból anioncserélő gyantán kötjük meg. Az elutumból redukálószer adagolását követően neodímium-fluoriddal együtt leválasztva készítünk alfa-forrást, melyet alfa-spektrometrián elemzünk (1) szilíciumdetektoros alfa-spektrométerrel, a nyomjelző ^{232}U mennyiségéből számoljuk a kémiai kitermelést.

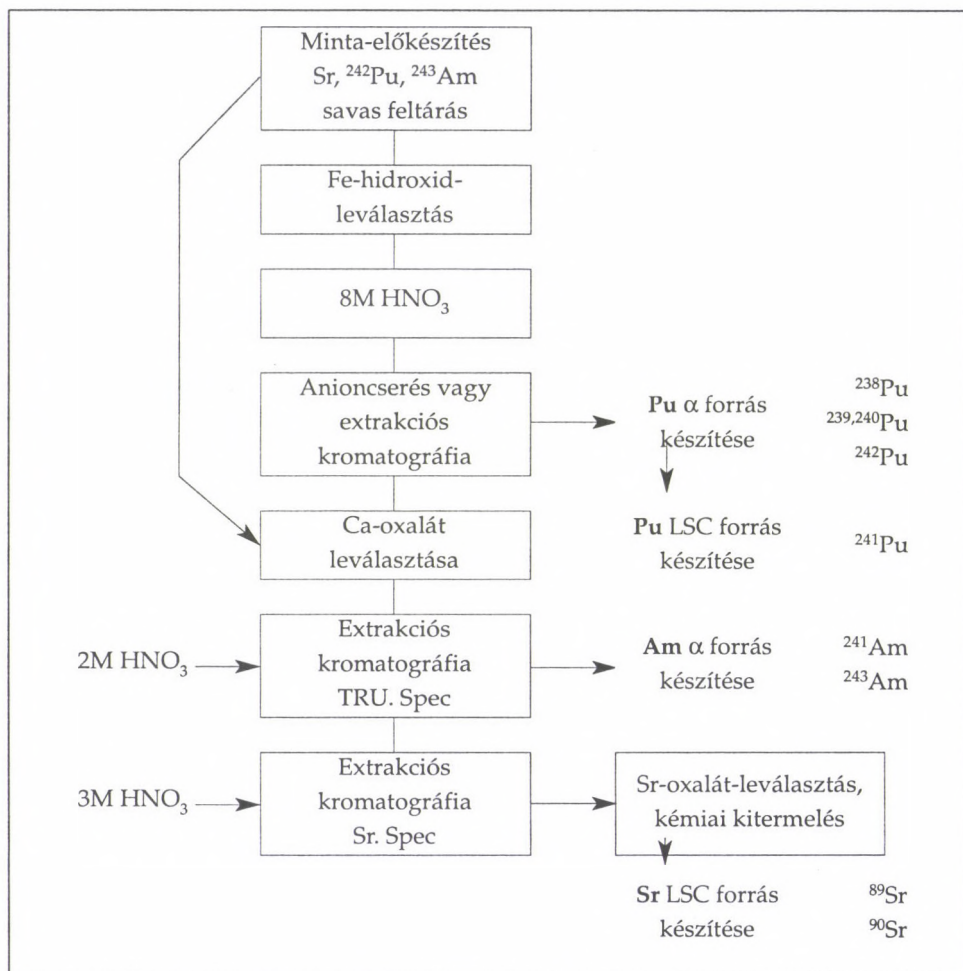
Plutónium-, amerícium- és stronciumizotópok egymást követő elválasztására kombinált elválasztási eljárást dolgoztunk ki, melyet korábban (2) részletesen ismertettük. A módszer folyamatábráját az 1. ábrán mutatjuk be.

A kémiai kitermelés meghatározására ^{242}Pu és ^{243}Am nyomjelzőt, Sr hordozót használunk. A plutóniumot anioncserélő gyantával, az ameríciumot hexil-fenil-N, N-dibutil-karbamoil-metil-foszfín-oxiddal (TRU. Spec), a stronciumot koronaéterrel (Sr. Spec) választjuk el. Az alfa-bomló nuklidokat ($^{239,240}\text{Pu}$, ^{238}Pu , ^{241}Am) alfa-spektrométerrel, a béta-bomló izotópokat (^{90}Sr , ^{89}Sr , ^{241}Pu) folyadékszintillációs technikával mérjük.

Uránizotópok meghatározása

Alfa-bomló uránizotópokat határoztunk meg Tolna megyei, Paks környékéről származó talajmintákban és a paksi atomerőműben keletkezett hulladékokban (a desztillációs víztisztító rendszer bepárlási maradékaiban), továbbá különböző dúsítású urán-oxid fűtőelemekben és levegőszűrőkben. Példaként a 2. táblázatban bemutatjuk 3-3 felszíni, illetve mélyebb rétegből vett talajmintában, 3 bepárlási maradékban és 3 különböző dúsítású fűtőelemen és a levegőszűrőben mért uránizotópok aktivitáskoncentrációját és $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ aktivitásarányát.

Az uránnak három, természetben előforduló alfa-bomló izotópja van. A ^{235}U és a ^{238}U két bomlási sor anyaeleme, a ^{234}U az utóbbi bomlási sorában szereplő hosszú felezési idejű izotóp. A $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ előfordulási aránya a természetben 0,7



1. ábra. Transzurán- és stronciumizotópok meghatározása

tömeg%. A reaktor-fűtőelemek gyártásakor ezt az arányt izotópdúsítással több százalékra növelik.

Dúsításkor természetesen a ²³⁴U/²³⁸U arány is növekszik, a táblázatban szereplő dúsítotturán-mintákban a 2,0%, 2,4% és 3,6% ²³⁵U/²³⁸U tömegarányú mintákban rendre 3,0; 3,8, illetve 6,6 ²³⁴U/²³⁸U aktivitásarányt mértünk. A természetes eredetű uránban – ezzel szemben – a ²³⁴U/²³⁸U aktivitásarány 1,0 körüli érték az ²³⁸U bomlási soron belül gyakran fennálló szekuláris egyensúly miatt, vagyis ilyenkor az anyaelem aktivitása megegyezik a leányelemével. Ez figyelhető meg az összes vizsgált talajmintában, akár felszín közeléből, akár mélyebb talajréteg-

2. táblázat

**Uránizotópok Tolna megyei talajmintákban,
radioaktív hulladékokban, dúsított uránban és levegőszűrőkön**

Minta száma	Megjegyzés (mélység, névl. dúsítás)	Aktivitáskoncentráció és szórása						Aktivitás- arány
		²³⁸ U	σ	²³⁵ U	σ	²³⁴ U	σ	²³⁴ U/ ²³⁸ U
Talajminták (Bq/kg)								
I.	7–8 m	19,5	1,0	< 1,26		21,3	1,0	1,09
II.	7–8 m	12,4	1,6	< 2,51		12,5	1,8	1,01
III.	7–8 m	10,3	0,67	< 1,4		10,1	0,72	0,98
IV.	0–2 cm	11,4	0,51	< 0,62		11,8	0,53	1,03
V.	0–2 cm	9,12	0,5	< 0,49		9,23	0,5	1,01
VI.	0–2 cm	8,69	0,52	0,57	0,19	9,18	0,53	1,06
Atomerőművi hulladékok (Bq/l)								
I.	bepárlási maradék	0,181	0,019	< 0,023		0,218	0,023	1,20
II.	bepárlási maradék	0,20	0,009	< 0,076		0,228	0,01	1,13
III.	bepárlási maradék	0,291	0,035	< 0,076		0,30	0,038	1,01
Dúsítotturán-minták (Bq/mg UO ₂)								
I.	2% ²³⁵ U* dúsítás	10,95	0,113	1,44	0,045	32,68	0,188	2,98
II.	2,4% ²³⁵ U* dúsítás	10,2	0,135	1,61	0,061	38,73	0,264	3,80
III.	3,6% ²³⁵ U* dúsítás	10,36	0,258	2,77	0,155	68,64	0,664	6,62
Levegőszűrők 1999-ből (Bq/kg aeroszol)								
I.	Budapes	31,8	3,4	< 3		28,9	3,7	0,91
II.	Pécs	17,5		< 3		18,4		1,05

*Kémiai veszteségekkel nem korrigált értékek (a mintákhoz nem adtunk ^{232}U nyomjelzőt, hogy a $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ arány meghatározásának pontosságát ne befolyásolja a ^{232}U tailing).

ből származik a minta. Első pillantásra meglepőnek tűnik, hogy a természetes uránra jellemző izotóparány figyelhető meg a paksi hulladékokban is: a $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ aktivitásarány 1,0–1,2 között változott. A mért uránizotópok arányából egyértel-

műen megállapítható, hogy sem a Paks környéki talajmintákban, sem a vizsgált bepárlási maradékokban nem mutatható ki a paksi reaktorok fűtőelemeiből eredő dúsított urán. A mért urán mindkét esetben természetes eredetű.

A módszer alkalmas volt arra is, hogy cáfolja azokat a rémhíreket, melyek szerint a jugoszláv háború hatására Pécsett a levegőben megnőtt az uránkoncentráció. Az aeroszol urántartalma megfelelt a budapesti értéknek és a tipikus talajkoncentrációnak. Az izotóparány nem szegényített, hanem természetes uránra jellemző volt.

Az urán az élő és az élettelen természetben igen elterjedt, úgynevezett ősi/földi elem, már a Föld keletkezésekor – több milliárd évvel ezelőtt – jelen volt és ma is jelen van a talajban, az édes és sós vizekben, az ivóvízben és végeredményben az élővilágban, így az emberi szervezetben is. A ^{238}U tipikus aktivitáskoncentrációja talajokban 10–30 Bq/kg, mint ez a fenti mintákban megfigyelhető, és nincs lényeges különbség a mélységi eloszlásban. Ez az aktivitáskoncentráció megfelel 1–3 mg/kg (ppm) urántartalomnak. Az urán mobilis, sokféle oldható komplex képzésére hajlamos, ezért a vizek rendszeresen tartalmazznak uránt tipikusan $\mu\text{g/kg}$ (ppb) koncentrációban. Ilyen koncentrációkat mértünk mi is néhány hazai ivóvízben. Érdekes megjegyezni, hogy a paksi reaktorok hűtővizében az uránkoncentráció szignifikánsan alacsonyabb, a ppt tartományba esik, kimutatása komoly mérés technikai problémát jelent. A nagyon alacsony uránkoncentráció a primer vízben természetesen a gondos víztisztítási technológia eredménye. Így könnyen feloldható az a látszólagos paradoxon, hogy egy atomreaktor hűtővizében több nagyságrenddel kisebb az urán koncentrációja, mint ivóvizeinkben.

Plutóniumizotópok meghatározása

A plutónium izotópjai uránizotópokból transzmutációs folyamatok révén keletkeznek atomreaktorokban, atombombákban. ^{238}U -ból egymást követő (n, γ) magreakciók és béta-bomlások sorozatában képződik a ^{239}Pu , a ^{240}Pu és a ^{241}Pu . Bár a plutóniumizotópok mind alapvetően antropogén eredetűek, környezetünkben kisebb-nagyobb koncentrációban mégis előfordulnak. Lokális szennyezésektől eltekintve Európában két fő forrásuk van: a légköri atomrobbantási kísérletek, melyek az atomsorompó-szerződés aláírásával 1963-ban gyakorlatilag megszűntek; továbbá az 1986-ban bekövetkezett csernobili atomreaktor-baleset. Mindegyik esetben jelentős mennyiségű radioaktív anyag jutott a környezetbe, az előbbi világméretű kihullás (fallout), az utóbbit csernobili kihullás néven említi a szakirodalom. Nemzetközi felmérések szerint (UNSCEAR 1991) a világméretű kihullás hatására a Föld felszínén átlagosan 22 Bq/m^2 $^{239,240}\text{Pu}$ -szennyeződés alakult ki.

Vizsgáltuk néhány hazai talajban a $^{239,240}\text{Pu}$ és a ^{238}Pu aktivitáskoncentrációját. Példaként a 3. táblázatban Paks környékén vett 3-3 talajmintában mért értékeket

Pu-izotópok elemzése Tolna megyei talajmintákban

Minta száma	Mintavétel helye, mélység	Aktivitáskoncentráció, szórás [Bq/kg száraz talaj]				Felületi konc. szórás [Bq/m²]		Aktivitás-arány $\frac{^{238}\text{Pu}}{^{239,240}\text{Pu}}$
		$^{239,240}\text{Pu}$		^{238}Pu		$^{239,240}\text{Pu}$		
		akt. konc.	σ	akt. konc.	σ	fel. konc.	σ	
Paks környéki talajminták								
I.	7–8 m	$< 0,079$		$< 0,099$				
II.	7–8 m	$< 0,083$		$< 0,086$				
III.	7–8 m	$< 0,068$		$< 0,066$				
IV.	0–2 cm	0,09	0,033	$< 0,067$		1,8	0,66	$< 0,74$
V.	0–2 cm	0,260	0,047	$< 0,12$		5,2	0,94	$< 0,46$
VI.	0–2 cm	0,292	0,037	$< 0,049$		5,84	0,74	$< 0,17$
Csernobil környéki talajminta								
VII.	0–1 cm	12,76	0,17	6,27	0,100	174		0,49
	1–2 cm	2,27	0,08	1,328	0,070			0,59
	2–3 cm	2,47	0,12	1,231	0,080			0,5
	3–4 cm	0,916	0,045	0,325	0,030			0,35
	4–5 cm	0,134	0,01	0,007	0,002			0,05
	5–15 cm	0,019	0,01	$< LD$				

foglaltuk össze. A minták részben felszín közeli (0–1 cm), részben több méter mély (7–8 m) rétegből származtak. Az előbbieket esetében számoltuk a felületi szennyezettséget is. A táblázatban bemutatjuk egy Csernobil környéki településen – a 30 km-es evakuált zónán kívül elhelyezkedő Poleszkojében – vett talajminta elemzési eredményeit. A Nemzetközi Atomenergia-ügynökség által 1990-ben szervezett csernobili programban a plutónium mélységi eloszlását határoztuk meg 1–1 cm vastag szelvényekben. A 3. táblázatban bemutatjuk minden minta esetében a $^{238}\text{Pu}/^{239,240}\text{Pu}$ aktivitásarányt.

Mivel a plutónium légköri kihullásból származik, és előszeretettel képez roszszul oldódó, nem mobilis vegyületeket, mindig a talaj felső rétegében fordul elő. 7–8 m mélységben nem sikerült kimutatni, a felszín közelében mindig mérhető mennyiségben előforduló $^{239,240}\text{Pu}$ felületi koncentrációja néhány Bq/m², kevesebb a 22 Bq/m² világátlagnál, bár más hazai mintákban mértünk magasabb értékeket is. A ^{238}Pu koncentrációja a legtöbb esetben nem éri el a detektálási határt. A Csernobil környéki településeken vett mintákban a Pu-izotópok aktivitáskoncentrációja széles határok között változott, nagyságrendekkel magasabb volt a

hazai értékeknél. A táblázatban bemutatott esetben a koncentráció a mélységgel gyorsan csökkent, $^{239,240}\text{Pu}$ felületi koncentrációja 174 Bq/m^2 -nek adódott.

A $^{238}\text{Pu}/^{239,240}\text{Pu}$ aktivitásarány függ a keletkezés módjától. Atombombákban, ahol a transzmutációs lánc végén álló elemek (például ^{238}Pu) keletkezésének kicsi a valószínűsége, ez az arány relatíve kicsi, például a világméretű kihullásra $0,03\text{--}0,04$ a jellemző arány. A sérült csernobili reaktorban a számított zónaleltár szerint az arány $0,47$ volt. A paksi VVER-440 reaktorokra vonatkozó számítások értelmében ez az arány a reaktor kiegészítésével növekszik, és a $0\text{--}30\,000 \text{ MWnap/t U}$ tartományban $0\text{--}2,7$ között változik. Ezekben a főbb valós és potenciális hazai plutóniumkibocsátási forrásokban tehát szignifikánsan különböző a $^{238}\text{Pu}/^{239,240}\text{Pu}$ arány, így környezeti mintában az izotóparány mérésével nemcsak a kontamináció ténye állapítható meg, hanem a szennyezés forrása is azonosítható, valószínűsíthető.

Paks környéki talajokban a $^{238}\text{Pu}/^{239,240}\text{Pu}$ arány kisebb $0,17$ -nél, vagyis kisebb, mint a csernobili kibocsátásra jellemző érték. A mért hazai talajmintákban a csernobili kihullás járuléka a plutóniumszennyezéshez kicsi a világméretű kihulláshoz képest. Mivel az aktivitáskoncentrációk alacsonyak, a ^{238}Pu -é nem érte el a detektálási határt, ezért nem számoltuk ki a szennyezőforrások egyedi járulékát. A poleszkojei minta esetében a felső 3 cm -es rétegben domináns a csernobili eredetű plutónium. Ott a $3\text{--}4 \text{ cm}$ mélyen levő rétegben az aktivitáskoncentráció jelentősen csökkent, és az aktivitásarány a csernobili és a világméretű kihullásra jellemző értékek között helyezkedik el: a kétféle szennyezés keveredett, mennyiségük összevethető volt. A csernobili és a világméretű kihullási $^{238}\text{Pu}/^{239,240}\text{Pu}$ aktivitásarányokat állandónak véve, kiszámítható, hogy például ebben a rétegben az összes Pu 80% -a csernobili eredetű. A $4\text{--}5 \text{ cm}$ közötti rétegben gyakorlatilag csak Csernobil előtti kihullás mutatható ki (mintegy 95% -ban).

Általában nemcsak egy talajszelvényben mutatható ki a különböző eredetű plutónium keveredése, hanem a felszíni mintákban is. Érdekes példa erre Lengyelország Pu -szennyezettsége, mely észak-keleten főleg csernobili, dél-nyugaton pedig világméretű kihullási eredetű, amint ezt J. W. Mietelski (3) mérései bizonyították. Hazánkban a Pu -szennyezettség felmérése nem történt meg.

$^{241}\text{Pu}/^{241}\text{Am}$ arányának meghatározása

A szennyezés forrásának azonosításában támpontot jelent, ha megállapítható az esemény bekövetkezésének időpontja. A radioizotópos kormérések speciális fajtája a $^{241}\text{Pu}/^{241}\text{Am}$ anya-leány elem arányának mérésén alapuló módszer, mely a környezetvédelemben is használható néhány éves-évtizedes korok meghatározására.

Az atombombákban, atomreaktorokban keletkező ^{241}Pu aktivitása – viszonylag rövid, 14 éves felezési ideje miatt – más transzuránokhoz képest nagy, és rela-

tíve gyorsan csökken. A 432 éves felezési idejű ^{241}Am elsősorban a Pu anyaelem bomlásából keletkezik, ezért aktivitása az időben növekszik. A mintákban mért $^{241}\text{Pu}/^{241}\text{Am}$ aktivitásarányból számolható egy kor, mely atombombák esetében a robbantástól eltelt időt adja meg. (Jó közelítéssel feltételezhető, hogy a robbantás pillanatában még nem képződött ^{241}Am). Ezzel a módszerrel vizsgáltunk például 1997-ben a Bikini-szigetetről, az Amerikai Egyesült Államok egykori kísérleti robbantási területéről származó üledéket. A mért $^{241}\text{Pu}/^{241}\text{Am}$ aktivitásarány $6,4 \pm 0,87$ volt, és a számított kor $37 \pm 0,87$ év, ami közelítőleg megfelelt az első termonukleáris bomba 1954-es robbantásától eltelt időnek (43 évnek).

Atomreaktorok fűtőelemeiben – a kiégéstől, hűtési időtől függő mennyiségben – keletkezik ^{241}Am , melynek „kezdeti” mennyiségét a kormérésnél figyelembe kell/lehet venni. Egy esetleges atomerőművi szennyezés ezzel a módszerrel is megkülönböztethető légköri kihullástól vagy más szennyezéstől.

Az ismertetett néhány példa rávilágít arra, hogy megfelelően alkalmazott analitikai módszerekkel nemcsak a környezetszennyezés ténye állapítható meg, hanem a szennyezés „ujjlenyomata” is meghatározható.

Irodalom

1. Vajda, N., Szatmáry, Z.: Reevaluated Nuclear Densities of the ZR-6 Fuel Elements, Proc. 7th AER Symposium on VVER Reactor Physics and Reactor Safety. Hörnitz near Zittau, 23–26 Sept. 1997.
2. Moreno, J., La Rosa, J., Danesi, P. R., Burns, K., Vajda, N., Sinojmeri, M.: Determination of ^{241}Pu by LSC in Combined Procedure for Pu Radionuclides, ^{241}Am and ^{90}Sr Analysis in Environmental Samples. *Radiactivity and Radiochemistry*, 1998 9 (2), 35–44.
3. Mietelski, J. W., Kozik, R.: Pu and Other Radionuclides in Some Samples of Lichen from Poland. *J. Radioecology*, 1996 (2) 4, 7–17.

Gondolatok az ionizáló sugárzás kis dózisainak hatásairól

Ahogy kezdődött

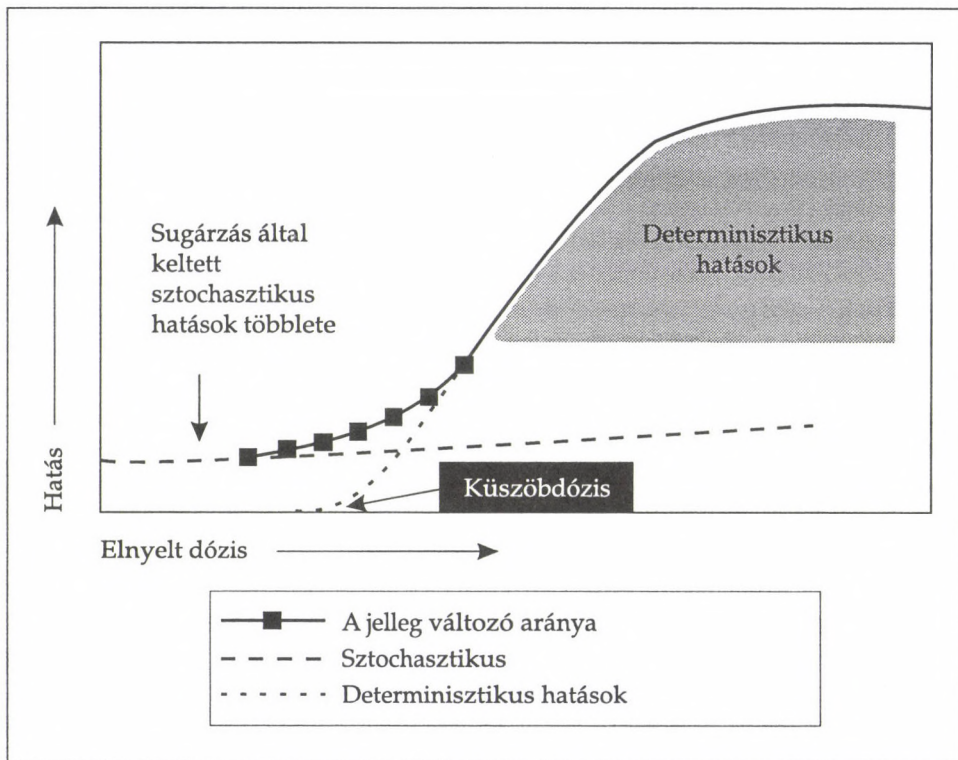
Az ionizáló sugárzás alig több mint 100 éves alkalmazása során a veszélyek ismeretének bővülésével folyamatosan alakult a szükséges sugárvédelem követelményrendszere. Időközben nyilvánvalóvá vált az is, hogy a természetes eredetű – kozmikus és földkérgi – sugárzásból, radioaktív bomlási sorok izotópjából mekkora a Föld élővilága számára a természetes sugárzási háttér. Az utóbbi években nagy szakmai, tudományos vita bontakozott ki a kis dózisok biológiai hatásairól: milyen mértékig kell növelni a sugárvédelmet, indokolt-e nagy anyagi ráfordításokkal olyan szintű kockázatokat csökkenteni, amelyek a természetes háttérsugárzási szint kockázatához viszonyítva is elhanyagolhatóan kicsik?

A vita kiterjedtségét jellemzi, hogy a Francia Tudományos Akadémia [1] kezdeményezése után a kérdéssel egyre több nemzetközi tudományos fórum foglalkozott [2, 3, 4, 5, 6]. A kérdéskör néhány fontosabb elemét magam is leírtam [7], a leglényegesebb vitapontokat itt megismétlem és kiegészítem.

A vitatott dózis-hatás modell

A sugárvédelem szempontjából két dózis-hatás modell kapott széles körű elfogadtatást, a sztochasztikus biológiai hatásokra a lineáris küszöb nélküli (linear-no-threshold, LNT), míg a determinisztikus hatásokra a küszöbdózis feletti szigmoid összefüggés (1. ábra.).

A sztochasztikus hatásokra – rosszindulatú daganat kezelése, örökletes hatások – vonatkozó modell azt sugallja, hogy minden kis dózis mellé rendelhető a hatás kockázatának egy bizonyos valószínűsége, bármely kicsiny legyen is az, mintha minden sejtszintű sugárkárosodás a sejt rosszindulatú átalakulásához vagy átörökíthető károsodásokhoz vezethetne. Erre hivatkozva a vélt és valós kockázatokat nehezen kezelő társadalmi személyek és csoportok úgy reagálnak, hogy minden többletkockázatot elutasítanak.



1. ábra. Ionizáló sugárzás sztochasztikus és determinisztikus hatásainak dózis-hatás összefüggése

1. táblázat

**Ionizáló sugárzás kis dózisa (1–250 mGy)
által kiváltható sejtbiológiai jelenségek (7)**

Jelenség	Változás
Szabadgyök-semlegesítés	fokozódik
DNS-helyreállítás	fokozódik
Sejtoszlás-szabályozás	változik
Antioxidáns-mennyiség	csökken
Citokinek megjelenése, termelése	változik
Alkalmazkodási válasz	megjelenik
Apoptózis-folyamat	megindul

A sztochasztikus hatásokat kiváltó kis dózisok esetén azonban – a fent bemutatott LNT dózis-hatás összefüggésen kívül – többféle más összefüggés is feltételezhető (2. ábra). Csaknem mindegyik változatra lehet kísérleti bizonyítékokat találni.

Ki mit tart kis dózissnak?

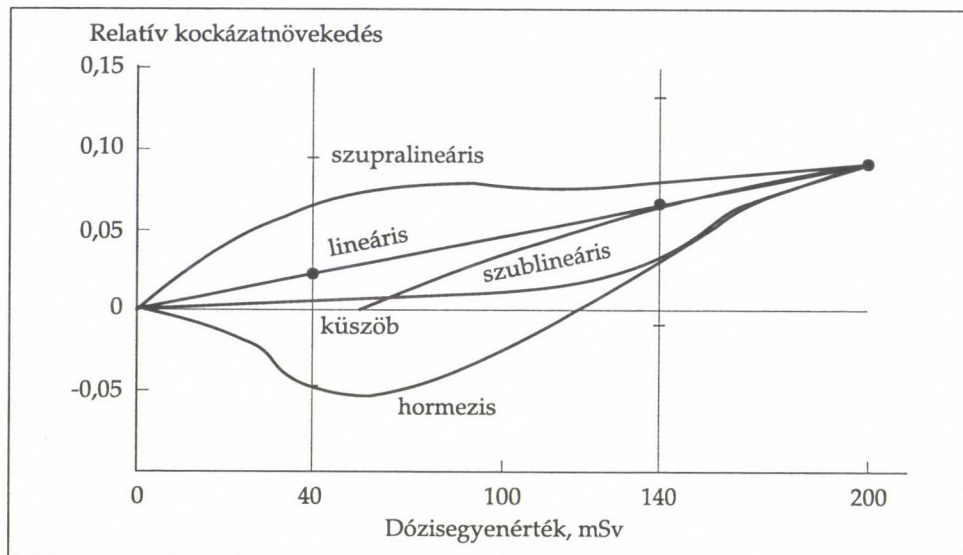
Az *epidemiológiai tanulmányok* alapján a sugárexponált népesség rosszindulatú daganatos betegségeinek statisztikáit feldolgozó és összefoglaló szervezetek a mintegy 200 mSv effektív dózis és a 100 mGy/óra dózisteljesítmény alatti tartományt tekintik kis dózissnak, illetve kis dózisteljesítménynek. Ez az érték úgy adódott, hogy 200 mSv alatt a rákos megbetegedési statisztikák elbizonytalanodtak, nem volt kimutatható szignifikáns összefüggés a dózis és a hatás, illetve a sugárzás indukálta és a nem sugárzás okozta rosszindulatú daganatok gyakorisága között [8, 9, 10]. Bizonyos epidemiológiai felmérések mutattak összefüggést, például pajzsmirigy-, emlőrák, valamint *in utero* besugárzott magzatok későbbi rosszindulatú megbetegedése eseteire [11, 12, 13, 14], de a tapasztalatok alapján úgy tűnik, hogy a kis dózisok daganatkeltő hatásaira az ICRP kockázati értékei [15] nem általánosíthatók.

*Sejtbiológiai*lag meglepő, hogy számos olyan jelenség érzékelhető, amit már 10–100 mSv kivált. Néhány ilyen példát mutat be az 1. táblázat. Ezt a dózistartományt tekintik kis dózistartománynak.

A sejtszintű elváltozások vizsgálatánál indokolt a *mikrodozimetriai* megközelítés, amikor az energiaátadást sejtszintű méretekben vizsgálják, s a találatok valószínűségét ilyen kis térfogatokra vonatkoztatják. Mikrodozimetriai megközelítésben azt tekintik kis dózissnak, amikor a célponttérfogat 20%-át éri találat [16].

A természetes – kozmikus és földkérgi eredetű – sugárzási háttér világ-átlagértéke is mSv/év nagyságrendű, 2,4 mSv/év. Ez azt jelenti, hogy évente minden sejtet 1 találat („hit”) ér. A természetes háttér ismerete azért is fontos, mert ez olyan vonatkoztatási pont, ami segít a „nagy” és „kis” minősítés meghozatalában. Ha ugyanis az élet ekkora (sőt, ennél magasabb) háttér mellett alakult ki a földkerekségen, akkor ezt a szintet nem tekintjük károsnak.

A fentiek alapján az is érthető, hogy bizonyos dózisszinteket már korábban „jelentéktelen dózissnak”-nak vagy más kifejezéssel „de minimis” dózissnak jelölték. (A jogi nyelvből kölcsönözve a kifejezést: „de minimis non curat lex” azaz kis dolgokkal nem foglalkozik a törvény.) Mindkét fogalommal 10 μ Sv-t jelöltek. Bár mindkét megközelítést bírálták [17], mégis a 10 μ Sv az a dózis, amelynél nem szükséges sugárvédelmi intézkedéseket foganatosítani [18]. Úgyisint olyan dózisszintnél, amelynél a lekötött kollektív dózis egy adott tevékenységből származóan nem több, mint 1 személy-Sv, a kollektív dózis alapján történő kockázatbecslés nem indokolt [18].



2. ábra. Ionizáló sugárzás kis dózisaival kiváltható biológiai hatások lehetséges dózis-hatás összefüggései

A biológiai válasz a dózisokon kívül a dózisteljesítménytől is függ. Kis dózisteljesítménynél a biológiai károsodás is kisebb, ezért az ICRP a kockázatbecslés pontosítása érdekében bevezette a dózis-dózisteljesítmény-csökkentési tényezőt, (DDRRF – dose dose rate reduction factor), azokra az esetekre, amikor az elnyelt dózis 200 mGy alatt van, és amikor nagyobb dózisoknál a dózisteljesítmény kisebb, mint 100 mGy óránként [15]. Bár a különböző károsodásoknál ez az érték különböző lehet, ez idő szerint a DDRRF-értéknek 2-t választottak [15]. Az UNSCEAR kis dózisteljesítményként 0,1 mSv percnkénti értéket jelölt meg [5] kis LET értékű sugárzásokra.

A természetes sugárzási háttér ennél sokkal kisebb, 1–3 mSv évente, azaz 0,1 μ Sv/óra vagy 0,17 nSv/perc.

Főbb érvek az LNT modell ellen

Az LNT modell ellen a leggyakrabban hangoztatott érvek az alábbiak:

- Az atombomba-támadás túlélői között 200 mSv alatt nincs szignifikáns növekedés a rákos megbetegedések gyakoriságában.
- A nagyobb természetes sugárzási háttérű területeken élőknél nem mutattak ki fokozott kockázatot, még ott sem, ahol a háttér az átlagosnál 3–10-szeresen nagyobb.

- A rákbetegség nem elsőrendű kinetikájú folyamat, egy érzékeny gén eltalálása avagy egy sejt rosszindulatú elfajulása még nem feltétlenül vezet klinikailag megjelenő rosszindulatú megbetegedéshez.
- A DNS-nek akár egy, akár kettős lánctörése esetén ezek kijavítása a sejtnak nem jelenthet túl nagy feladatot, hiszen a normális anyagcsere révén endogén vagy exogén tényezők miatt nagy számban fordulnak elő ilyen károsodások, amelyeket a sejt korrigál.
- Kis dózisoknál még senki nem mutatott ki biológiai vagy egészségkárosodást.
- Az LNT modell jól szolgálja a sugárvédelmi szabályozást, de általános érvénye sem tudományosan, sem statisztikailag nem igazolt.

Érvek az LNT modell mellett

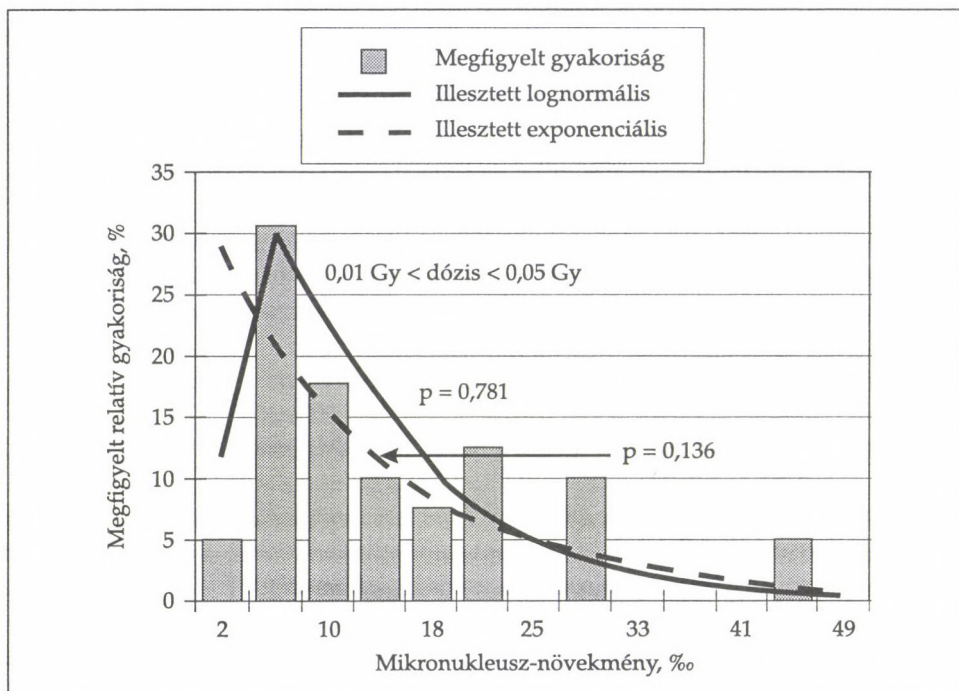
A „konzervatív tábor” az LNT modell megtartása érdekében a következő főbb érveket hozza fel:

- A sugárbiológiai kísérleti eredmények dózishatás-elemzésében már Müller óta megszokott a lineáris összefüggés alkalmazása, amikor ő korszakalkotó genetikai vizsgálatait végezte *Drosophila* legyeken [19].
- A sztochasztikus hatások egészségügyi kockázatának becslésére az ICRP ajánlotta az LNT modellt [15, 20].
- A sejtszintű sugárbiológiában a sejtek túlélését, citogenetikai elváltozásait, mutációkat vizsgálva, 1 Gy alatt a lineáris dózis-hatás összefüggés sokszor bizonyítást nyert.
- Epidemiológiailag találtak szignifikáns összefüggést pajzsmirigy-, emlőrákok előfordulásában és a magzat *in utero* besugárzását követő malignitások kialakulásában 50–100 mGy között is [11, 12, 13, 14].
- 50 mGy felett az atombomba-támadás túlélői között is találtak tumorgyakoriség-növekedést, de az is nyilvánvalóvá vált, hogy 100 mGy alatt a kockázat valóban igen kicsi [21].
- A csernobili baleset következményeit felszámoló személyzetnél („likvidátorok”) az emésztőszervi rákok gyakoriságának emelkedését észlelték, ott pedig az átlagos dózis 108 mGy volt [22].

További adatgyűjtés szükséges

Sokan egyetértenek abban, hogy mind az epidemiológiai, mind a kísérletes sugárbiológiai irányban további vizsgálatokat kell folytatni.

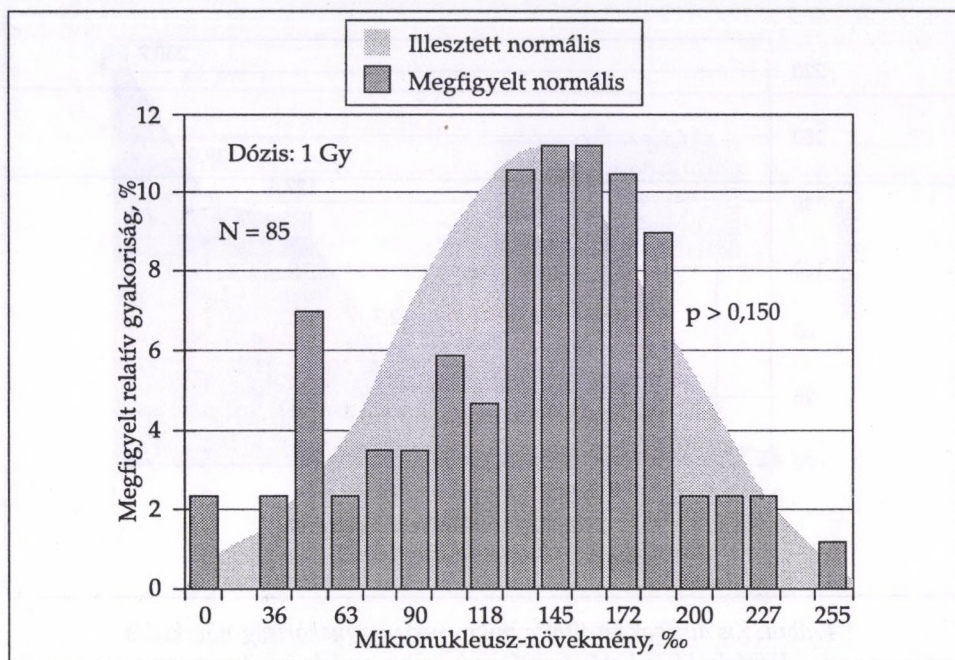
A két irányt magunk egyesítettük, amikor is nagyszámú személynél sugárbiológiailag elemeztünk vérmintákat. *In vitro* röntgenbesugárzással, különböző dózisokkal és a vonatkozó besugárzás előtti alapértékekkel együtt meghatároz-



3a ábra. Egyéni vérminták eloszlása a limfocitákban kis dózisok (kisebb, mint 0,05 Gy) okozta mikronukleuszgyakoriság-növekedés alapján. Az eloszlás aszimmetrikus, miként a nem besugárzott mintáké is

tuk a sugárzás indukálta limfocita-mikronukleusz gyakoriságot. Mind a vizsgált személyek érzékenység szerint történt csoportosítása (3a és 3b ábra), mind a dózishatás összefüggés hozamegyenleteinek paramétereinek alapján (4. ábra) különbséget mutattunk ki a kis és a nagy dózisok kiváltotta jelenségek jellege között [23, 24, 25, 26]. Megállapítottuk, hogy 0,2 Gy alatt a citogenetikai elváltozások gyakorisága nem volt kapcsolatban a sugárzás dóziséval, hanem azt egyéb szervezeti tényezők befolyásolták.

A kis dózisok kiváltotta érdekes biológiai jelenség a hormesis és az adaptív válaszadás. Előbbi egy stimuláló hatást tulajdonít kis dózisoknak, utóbbi pedig azt mutatja ki, hogy egy megelőző kis dózis 10–100 mGy tartományban olyan folyamatokat indít el a sejtben, amelynek köszönhetően egy bizonyos időn belül a kapott nagyobb dózis kevesebb kárt okoz, mint amennyit a nagy dózis egymagában okozott volna. Saját munkánkban G_0 fázisú keringő vér limfocitáiban magunk is kimutattuk a jelenséget (5. ábra).



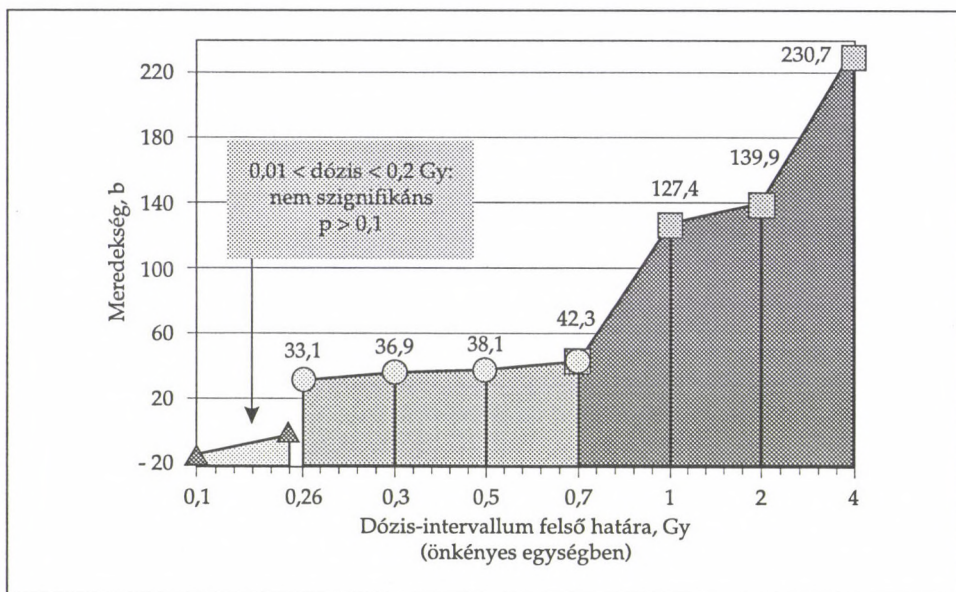
3b ábra. Egyéni vérminták eloszlása limfocitákban nagy dózis (1 Gy) okozta mikronukleuszgyakoriság-növekedés alapján. Az eloszlás szimmetrikus jellegű

Örömmel említem meg e helyt és vezetem be Tóth Eszter és munkatársainak megfigyeléseit [27], miszerint a radonexpozíciónak kitett lakosság egyes csoportjainál ilyen hormesis-hatás észlelhető. Ezt a jelenséget amerikai szerzők is tapasztalták.

Az ionizáló sugárzásokkal szembeni sejtreakció tehát kis dózisoknál mutatkozik, anélkül, hogy a kis dózis a sejtet súlyosan károsítaná. Hogy ennek tulajdonítunk-e jelentőséget a sugárvédelmi szabályozásban, az még eldöntendő kérdés.

Lakóteri radon, lakosság és rákesetek

Az észak-magyarországi Mátraderecskén néhány házban magas radonaktivitáskonzentrációt tapasztaltunk [28], [29]. 1992 és 1996 között, öt éven át mértük a radonaktivitáskonzentrációt hálósobákban, a párna magasságában. A méréseket CR-39 típusú nyomdetektorral végeztünk, a mért adatokból éves átlagokat számoltunk. Mátraderecskén a lakóteri radonaktivitáskonzentrációjának éves

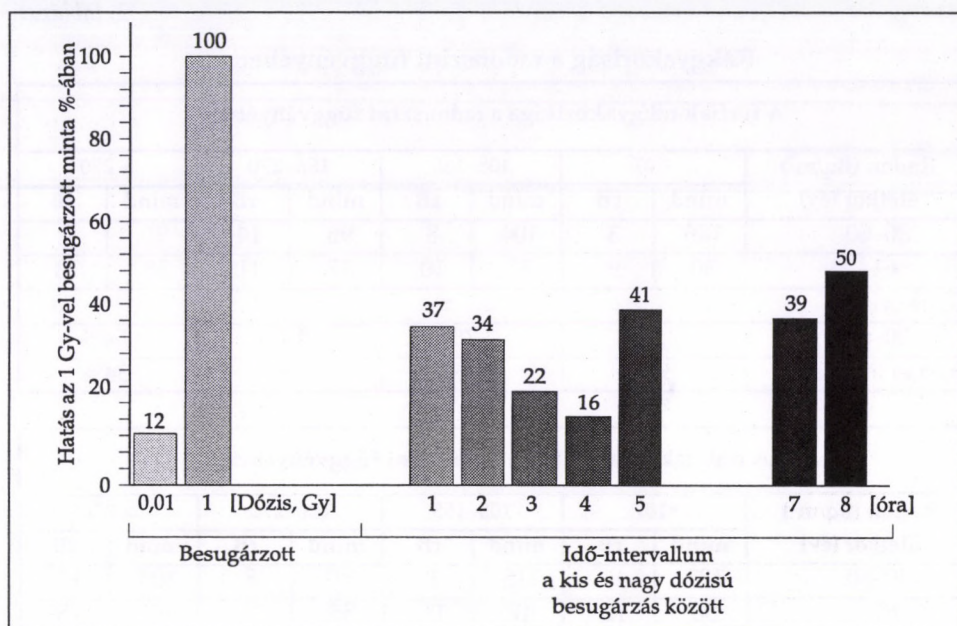


4. ábra. Kis dózisok kiváltotta mikronukleuszgyakoriság-növekedés lineáris dózis-hatás összefüggésének merekségváltozása a vizsgált dózistartomány függvényében

átlag, röviden *radonszintje*, nagyon széles skálájú: 20 Bq/m³ értéktől 1660 Bq/m³ értékig terjed. (1 Bq/m³ egy radioaktív alfa-bomlást jelent egy másodperc alatt 1 légköbméterben.)

Mátradereszkének 1992-ben 2489 lakosa volt, akik zömmel a palóc etnikai csoporthoz tartoznak. A mátradereskei lakosság mobilitása nagyon kicsi [30]. Lényegében sem ipar, sem közlekedés nem szennyezi a falu levegőjét. Az emberek a házasságkötést követően ugyanabban a házban élik le életüket. (Aki az elmúlt 15 évben költözött a faluba, kihagytuk vizsgálatunkból.) Hálósobájának radonaktivitás-koncentrációja szempontjából 1972 embert vizsgáltunk, 932 férfit és 1040 nőt. Mátraderesken a nők általában nem dohányoznak (a 79 rákos nő közül csupán 3 dohányzott), és egész életüket a faluban töltötték. (A dereskei férfiak jó része a közeli bányákban dolgozott, a rákos esetek 60%-a dohányos volt.)

A rákbetegségeket a Betegségek Nemzetközi Osztályozása (BNO) szerint rögzítettük 140 és 204 sorszámok között. A mátradereskei rákeseteket 23 éves időintervallumra, 1971 és 1993 között kutattuk fel. Minden egyes esetben ismerjük a beteg nemét, születési évét, morbiditási korát, ráktípusát (BNO-kóddal), dohányzási szokását és hálósobájának radonszintjét az elmúlt öt évben. Mátraderesken



5. ábra. Alkalmazkodási válaszjelenség emberi limfocitákban a sugárzás okozta mikronukleusz-képződés mértékében

1971 és 1993 között összesen 151 rákos megbetegedés fordult elő (79 nő és 72 férfi). A megyei ÁNTSZ rákregiszteréből kiindulva a helyi orvosok és ápolónők segítségével a kórházi zárójelentések és a boncolási jegyzőkönyvek alapján részletes és pontos rákregisztert hoztunk létre. Az ápolónők azonosították a beteg lakószobáját a rák diagnózisát megelőző 15–20 évre.

Vizsgálatunkban a rákgyakoriságot úgy határoztuk meg, hogy *minden egyes* vizsgált személy (beteg és egészséges) lakókörnyezetének radonszintjét ismerjük. Ez módszerünk erőssége, ugyanakkor hátránya is: a vizsgált emberek száma nem elég nagy ahhoz, hogy részletesebb életkorbontást végezhesünk.

Kevesebb rákkockázat közepesen magas radonkoncentrációban

Az öt éven át tartó radonmérések és a részletes rákadatbegyűjtés után csoportosítottuk a mátraderecskei lakosokat és rákeseteket hálósobáik radonszintje és életkoruk szerint (2. táblázat). A *radonszint* elnevezés most az öt évben mért radonszintek átlagát jelenti. Az *életkor* a betegek esetében a morbiditási kor (életkor a rák felismerésekor), az egészségeseknél az 1988-ban érvényes életkor.

Rákgyakoriság a radonszint függvényében

A férfiak rákgyakorisága a radonszint függvényében								
Radon (Bq/m ³) életkor (év)	-107		108–165		166–270		> 270	
	mind	rB	mind	rB	mind	rB	mind	rB
30–60	146	3	104	8	95	14	91	4
61–	30	9	37	10	37	11	38	13
Gyakoriság								
30–60	2,1%		7,7%		14,7%		4,4%	
61-nél idősebb	30%		27%		30%		34%	

A nők rákgyakorisága a radonszint függvényében								
Radon (Bq/m ³) életkor (év)	-107		108–165		166–270		> 270	
	mind	rB	mind	rB	mind	rB	mind	rB
30–60	131	9	115	1	107	8	103	12
61–	36	12	47	11	55	11	61	15
Gyakoriság								
30–60	6,9%		0,9%		7,5%		11,7%	
61-nél idősebb	33%		23%		20%		25%	

rB: rákesetek száma 1971–1993.

A radonadatok 1992–1996 közötti mérések átlagai.

A lakosok életkora 1988-ban értendő.

A 2. táblázathoz képest még több információt kínál a 3a és a 3b táblázat, amelyekben a rák típusát is megadjuk. (30 évesnél fiatalabb rákos csak egy kisfiú volt, így a vizsgált, de 30 évesnél fiatalabb 354 férfit és 385 nőt nem tartalmaznak a táblázatok.)

Figyelmet érdemel a 30–60-éves 456 nő rákgyakoriságának alakulása:

6,9%	107 Bq/m ³ alatt
0,9%	108 és 165 Bq/m ³ között
7,5%	166 és 270 Bq/m ³ között
11,6%	271 Bq/m ³ fölött.

Annak az állításnak a megbízhatósága, hogy a 30–60 éves nők esetén 108 és 165 Bq/m³ között a rák gyakoriságának minimuma van, nem kisebb, mint 98%.

3a. táblázat

Férfiak ráktípusának megoszlása életkor és radonszint szerint

Radon (Bq/m ³)		-107		108–165		166–270		> 270	
Életkor (év)		30–60	61–	30–60	61–	30–60	61–	30–60	61–
Az összes férfi száma		146	30	104	37	95	37	91	38
Ráktípus									
BNO	Az alábbi szervek rákja								
146	száj			x				x	
151	gyomor	x	xx	x	x	xx	xxx		xxx
152	vékonybél					x			x
154	végbél			x	x			x	
155	máj				x		x		x
157	hasnyálmirigy					x			xx
161	gége		x			xxx	x		x
162	tüdő és légzőszervek	x	xx		xxxx	xxxx			xxx
163	mellhártya							x	
170	csont						x		
172	bőr		x	x		x	xx		xx
185	prostatata		x	x		x	xx		
188	hólyag		x		x		x		
189	vese			xxx					
196	nyirok	x			x		x		
199	sokszoros					x			
202	lágyszövetek		x						
203	sokszoros				x				
	Összes	3	9	8	10	14	11	4	13
	Gyakoriság	2%	30%	8%	27%	15%	30%	4%	34%

Következtetések

A többoldalú és egyre terebélyesedő vitából végső következtetéseket még korai levonni. Kétségtelen azonban:

- további vizsgálatokat kell folytatni mind az epidemiológiai elemzések, mind a sugárbiológiai kutatások terén.
- Szemléletváltás szükséges annak felismerésére, hogy egy biológiai reakció, biológiai válaszadás nem feltétlenül jelent biológiai, sőt egészségi károsodást.

Nők ráktípusának megoszlása életkor és radonszint szerint

Radon (Bq/m ³)		-107		108-165		166-270		> 270	
Életkor (év)		30-60	61-	30-60	61-	30-60	61-	30-60	61-
Az összes nő száma		131	36	115	47	107	55	103	61
Ráktípus									
BNO	Az alábbi szervek rákja								
142	nyálmirigy					x			
146	száj	x							
151	gyomor		xxx				x		xxx
152	vékonybél	xx	x		x		xxx		x
154	végbél		x		x		x		xx
155	máj						x	x	
156	epehólyag						x		
157	hasnyálmirigy								x
158	peritoneum							x	
162	tüdő, légzőszervi	x	x					x	
171	kötőszövet	x							x
172	bőr	xx	xxxxx		xxxx	x	x		xxxx
174	mell	x				xxxxx	x	xxx	xx
180	méhnyak	x			xx			xx	x
182	méh		x		x			xx	
183	petefészek				x	x	x	x	
188	hólyag							x	
193	pajzsmirigy						x		
196	nyirok				x				
199	sokszoros			x					
	Összes	9	12	1	11	8	11	12	15
	Gyakoriság	7%	33%	1%	23%	7%	20%	12%	25%

– Az LNT modell elvetése sok további kérdést vet föl, nevezetesen: mi az elfogadható küszöbdózis az egyes hatásokra különböző érzékenyséű személyeknél, különböző életkori csoportoknál?

– A társadalomban csökkenteni kell a nagy különbséget a kis dózisok vélt és valós kockázatának becslése között, amelyhez az LNT modell hozzájárult.

A kis dózisok biológiai hatására vonatkozó szemléletváltás segítené a sugaras és nukleáris technológiák megnyugtatóan biztonságos, indokolatlan és irracionális aggodalmakat nem keltő alkalmazását minden olyan területen, ahol ennek fel-

tételei adva vannak, és alkalmazásuk indokolt, sőt elkerülhetetlen gazdasági, társadalmi igények alapján.

A tüdőrák esetén az amerikai Bernard Cohen [31] csökkenő rákkockázatot lát 10 Bq/m³-től 200 Bq/m³-ig. A svéd Pershagen [32, 33] vizsgálatai 400 Bq/m³-től felfelé emelkedőnek mutatják a rák kockázatát. Eredményeik tehát nem zárnak ki olyan minimumot, amelyet mi is találtunk. A legtöbb vizsgálat a világon azonban csak a tüdőrákra szorítkozik. Más rákok radonfüggőségének felvetésével találkozhattunk a japán Sohei Kondo könyvében [34]. Japánban, a Misasa gyógyfürdőhelyen végzett vizsgálatokat Mifune [35], aki a magas radonos gyógyhelyen minden rák esetére alacsonyabb gyakoriságot talált, mint a kontrollterületen.

Vizsgálatunk minden ráktípust felölelt. *Radon- és rákadataink alapján nagy valószínűséggel (>98%) azt állítjuk, hogy a viszonylag fiatal (30–60 éves) asszonyok kevésbé lesznek rákosok, ha az országos átlagnál két-háromszor magasabb radioaktivitás-koncentráció közepette élnek otthonukban (110 és 170 Bq/m³ között).*

Mátraderecske népessége etnikailag homogén, ugyanabban a lakásban élnek egész életükben, a faluban kicsi a levegő kémiai szennyezettsége. Egy egész országra kiterjedő, szélesebb körű vizsgálat esetén szükségszerűen más karcinogén tényezőket – dohányzást, ipar, közlekedési légszennyezést – is figyelembe kellene vennünk. Ezért más, Mátraderecskehez hasonló, a „világtól távol lévő” falvak rákkockázat-radonvizsgálata ígéretes, ha ott a lakótéri radonszint is széles tartományban jelenkezik. Ilyen vizsgálatok folyamatban vannak, a radon mérése 1999. szeptemberére 3-4 ilyen községben befejeződik. Az elfogadható rákregiszter megalkotása azonban ennél sokkal nehezebb feladat.

*

A szerzők köszönetet mondanak Marx Györgynek, Teller Edének, Vizi L. Szilveszternek, Pál Lénárdnak bátorításukért és tanácsaikért, Lázár Istvánnak, Selmeczi Dávidnak és a Lauder Javne Iskola tanulóinak a RAD Laboratóriumban végzett pontos és áldozatos munkájukért.

Irodalom

1. Problemes liés aux effets des faibles doses des radiations ionisantes. *Academie des Scientes*, rapport No. 34, 1995; angolul: *Academie des Scientes*, rapport No. 38., 1997, Paris.
2. *Creating a Strategy for Science Based National Policy: Addressing Conflicting Views on the Health Risk of Low Level Ionizing Radiation*. Council of Scientific Societies Presidents, USA, Wingspread, 1997.
3. *International Conference on Health Effects of Low Dose Radiation: Challenges for the 21st Century*, British Nuclear Energy Society. Stratford-on-Avon, 1997.
4. *Low Doses of Ionizing Radiation: Biological Effects and Regulatory Control*. International Atomic Energy Agency and World Health Organization, Seville, 1997.

5. *The Effects of Low and Very Low Doses of Ionizing Radiation on Human Health*. World Council of Nuclear Workers, Versailles, 1999.
6. *Biological Effects after Small Radiation Doses*. Int. Congr. Radiat. Res., Würzburg, 1995.
7. Köteles, Gy.: *The Low Dose Dilemma*. Centr. Europ. J. Occup. Environ. Med., 1998, 4, 103–113.
8. *UNSCEAR '94: Sources and Effects of Ionizing Radiation*. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, New York, 1994.
9. Tubiana, M., Latarjet, R., Lafuma, J.: Not so Stupid. *New Scientist*, 1995, 148, 56.
10. Heidenreich, W. F., Paretzke, H. G., Jacob, P.: No Evidence for Increased Tumor Rates Below 200 mSv in the Atomic Bomb Survivors Data. *Radiat. Environ. Biophys.*, 1997, 36, 205–207.
11. Clarke, R. H.: The Threshold Controversy. *Radiol. Prot. Bull.*, 1996, No. 178; *Natl. Radiol. Prot. Board*, UK.
12. Sobolev, B., Heidenreich, W. F., Kairo, I., Jacob, P., Goulko, G., Likhtharev, I.: Thyroid Cancer Incidence in the Ukraine after the Chernobyl Accident: Comparison with Spontaneous Incidences. *Radiat. Environ. Biophys.*, 1997, 36, 195–199.
13. Miller, R. W., Boice, J. D. Jr.: Cancer after Intrauterine Exposure to the Atomic Bomb. *Radiat. Res.*, 1997, 147, 396–397.
14. Delongchamp, R. R., Mabuchi, K., Yoshimoto, Y., Preston, D. L.: Cancer Mortality among Atomic Bomb Survivors Exposed in utero or as Young Children, October 1950 – May 1992. *Radiat. Res.*, 1997, 147, 385–395.
15. ICRP 60: Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. *Annals of the ICRP*, 1990, 21, No. 1–3, 201.
16. Booz, I., Feinendegen, L.: A Microdosimetric Understanding of Low Dose Radiation Effects. *Int. J. Radiat. Biol.*, 1988, 53, 13–21.
17. Lindell, B.: Comments on Various Views on the Concept of „de minimis“. *Health Phys.*, 1989, 52, 211–212.
18. IAEA-IBSS: International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, International Atomic Energy Agency, Safety Series No. 115. Vienna, 1996.
19. Müller, H. J.: Artificial Transmutation of the Gene. *Science*, 1928, 66, 84–87.
20. ICRP 26: Recommendations of the ICRP. *Annals of the ICRP*, 1977, 1, No. 3.
21. Pierce, D., Shimizu, Y., Preston, D. L., Veath, M., Mabuchi, K.: *Studies of the Mortality of Atomic Bomb Survivors Cancer*. 1996, 146, 1–27.
22. Ivanov, V. K., Rastopchib, E. M., Gorsky, A., I., Ryvkin, V. B.: Cancer Incidence among Liquidators of the Chernobyl Accident: Solid Tumors 1986–1995. *Health Phys.*, 1998, 74, 309–315.
23. Bojtor, I., Köteles, G. J.: Low Dose Effect Detected by Micronucleus Assay in Lymphocytes. In *Low Doses of Ionizing Radiation: Biological Effects and Regulatory Control*. IAEA-TECDOC-976, 1998, Vienna, 55–58.
24. Bojtor, I., Köteles, G. J.: *Low Dose Response Analysis Through a Cytogenetic End-point*. Proc. IRPA Reg. Symp. on Radiation Protection, Prague, 1997.
25. Köteles, G. J., Bojtor, I., Horváth, Gy., Kubasova, T.: Low Dose Effect Detected by Micronucleus Assay in Lymphocytes. *Low Dose Response Analysis Through a Cytogenetic End-point*. Centr. Europ. J. Occup. Environ. Med., 1997, 4, 15–24.
26. Köteles, G. J., Bojtor, I., Bognár, G., Ótos, M.: *Lymphocyte Response in Human Population and its Antioxidant protection against Low Doses of Ionizing Radiation*. Proc. Int. Conf. On „The Effects of Low and Very Low Doses of Ionizing Radiation on Human Health“. World Council of Nuclear Workers, Versailles, 1999.
27. Tóth, E., Lázár, I., Selmeczi, D., Marx, Gy.: Lower Cancer Risk in Medium High Radon. *Path. Oncol. res.*, 1998, 4, 125–129.
28. Tóth, E. et al: High Radon Activity in North-East Hungary. *Physica Scripta*, 1994, 50/6, 726–730.
29. Tóth E. et al: Radon Variation in a Hungarian Village. *Environmental Geology*, 1997, 31/1–2, 123–127.
30. Czeizel, A., Beakmann, H.-G., Goedde, H. W. (editors): *Genetics of the Hungarian Population*. Springer, Berlin, 1991, 3, 319–321.
31. Cohen, B. L.: Compilation and Integration of Studies of Radon Levels in U. S. Homes by States and Countries. *Critical Reviews in Environmental Control*, 1992, 22, 234–364.

Köteles György, Tóth Eszter: Gondolatok az ionizáló sugárzás kis dózisainak hatásairól

32. Pershagen, G. et al: Residential Radon Exposure and Lung Cancer in Swedish Women. *Health Phys.*, 1992, 63, 179–186.
33. Pershagen, G. et al: Residential Radon Exposure and Lung Cancer in Sweden. *N. Engl. J. Med.*, 1994, 330, 159–164.
34. Kondo, S.: *Health Effects of Low-level Radiation*. Kinki University Press, 1993, Osaka, 63–64.
35. Mifune, M. et al: Cancer Mortality Survey in a Spa Area (Misasa, Japan) with a High Radon Background. *Jpn. J. Cancer Res.*, 1991, 83, 1–5.

Légköri nukleáris fegyverkísérletek által termelt T, ^{14}C és ^{137}Cs segítségével végzett analitikai vizsgálatok

Az 1945–1958 és 1961–1962 között végzett légköri nukleáris fegyverkísérletek során több radioaktív szennyezőanyag került a környezetbe, mint bármilyen más emberi tevékenység következtében együttvéve.

1945 és 1962 között összesen közelítően 400 légköri robbantást hajtottak végre, melyek összes robbanási energiája közel 500 Mtonna trinitrotoulol (TNT) ekvivalens volt. Az USA több kísérletet végzett, míg a Szovjetunió által végzett robbantások energiája nagyobb volt. A legnagyobb energiájú légköri kísérletet (58 Mt) a Szovjetunió hajtotta végre 1961 októberében Novaja Zemlja felett 3700 m magasságban. Ezt követte még két, 30 Mt és egy 20 Mt hatóerejű robbantás ugyanezen térségben 1962 folyamán [1–7].

A nukleáris fegyverkísérleteket két egyezmény korlátozta. 1958 novemberében írták alá az első atomcsendegyezményt, mely betiltotta mind a légköri, mind a föld alatti fegyverkísérleteket az aláíró atomfegyverrel rendelkező országok (a Szovjetunió, az Egyesült Államok és Anglia) számára. 1961 szeptemberétől kezdődően azonban a két katonai nagyhatalom nagy hatóerejű nukleáris fegyverkísérlet-sorozatokot hajtott végre. A kísérletsorozatok során 1962 végéig, a Részleges Atomcsend-egyezmény aláírásáig több mint 500 Mt összesített energiájú kísérletet végeztek. 1962 után a légkörben lényegesen kevesebb nukleárisfegyverkísérletet hajtottak végre, ezek összes robbanási energiája is lényegesen kisebb volt, mint az 1962 előtt végzeteké.

A tényleges és a feltételezett kísérleti területek többsége a Föld északi féltekéjén volt, következésképpen a radioaktív kihullás döntő többsége is ezen a területen szennyezte a környezetet.

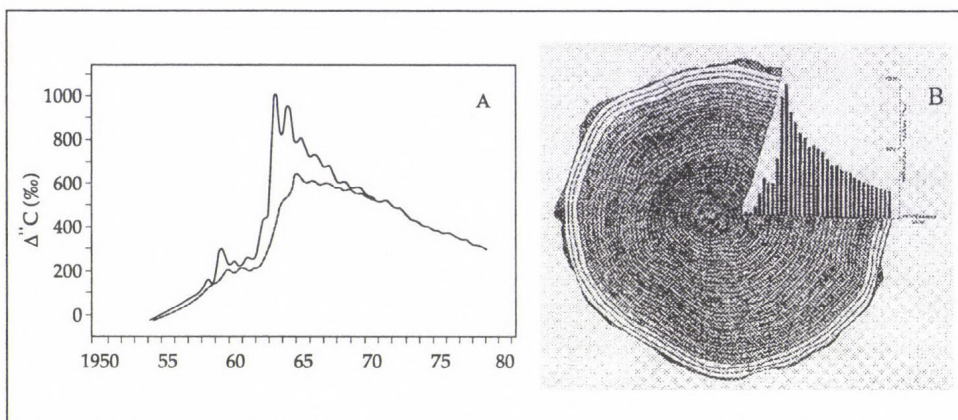
A kihullás három összetevőjének (a lokális, a troposzferikus és a sztratoszferikus komponensnek) az aránya a robbantás magasságától, energiájától és a felszín minőségétől függ. Szárazföldi felszíni robbantások esetén a megatonnás energiájú tartományban a késleltetett sugárzás ~80%-a lokális, ~5%-a troposzferikus és ~15%-a sztratoszferikus kihullás formájában kerül a felszínre. Vízfelszín felett végzett kísérlet esetén ugyanebben a tartományban ez az arány már

~20%, ~5%, ~75%. Léggöri robbantáskor (amikor a tűzgömb messze van a felszíntől) a megatonnás tartományban a lokális kihullás már csak 10%-ot tesz ki, míg a sztratoszferikus rész ~85%-ra nő. A kilotonnás tartományban a lokális kihullás százalékos aránya nem különbözik a megatonnás tartományban említett arányoktól. A sztratoszferikus komponens viszont nem jelentkezik, mivel a radioaktív ködfelhő a troposzférában stabilizálódik.

Az uránium vagy a plutónium hasadása során közel 35 elemnek több mint 200 izotópja keletkezik. Többségük igen rövid felezési idejű radioaktív izotóp. Következésképpen az aktivitás a robbantást követően kezdetben nagyon gyorsan csökken.

Radiokarbon

A nukleáris robbantás során szabaddá váló neutronok mind a légkörben, mind a talajban radioaktív izotópokat termelnek. A légkörben keletkező izotópok közül legjelentősebb a ^{14}C termelődése. A végrehajtott légköri nukleáris fegyverkísérletek során a $^{14}\text{N}(\text{n},\text{p})^{14}\text{C}$ magreakció útján összességében szakaszosan $2,2 \cdot 10^8$ GBq többlet ^{14}C jutott a légkörbe [8]. A keletkezett radiokarbon rövid idő alatt $^{14}\text{CO}_2$ -vé oxidálódik, majd a növényi fotoszintézis során a táplálkozási láncba bejutva, beépül az élő szervezetekbe. A légköri nukleáris fegyverkísérletek eredményeként a kozmikus sugárzás hatására keletkező és geológiai idők alatt stabilizálódott radiokarbon háttér 1963-ban kétszeresére emelkedett az északi félgömbön a troposzférában (1A ábra). Az évenkénti változást utólag figyelemmel



1. ábra. A troposzférikus ^{14}C -többlet a nukleáris fegyverkísérletek következtében az északi, illetve déli félgömbön és ennek kimutatása a faévgűrűkben [9–11]

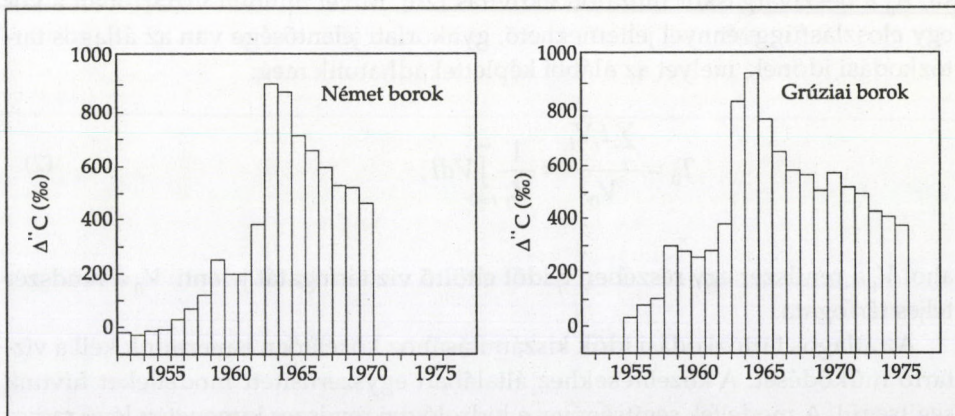
lehet kísérni fák évgyűrűinek radiokarbonaktivitás-mérése segítségével, hiszen az évgyűrűk szene minden évben az az évi légköri szén-dioxid szenének radio-karbon-aktivitását tükrözi (1B ábra).

A légköri nukleáris fegyverkísérletek okozta aktivitásszint-változás számos esetben sokkal pontosabb kormeghatározást tesz lehetővé, mint amilyet a 100 évnél idősebb leleteknél el tudunk érni. Az atombomba-kísérletek következtében éves pontossággal meg lehet határozni olyan leletek korát, melynek képződése egy évnél rövidebb ideig tartott, és a lelet az atmoszferikus szénnel kölcsönhatásban volt. Így például meghatározható elhullott agancsok kora, bor, whisky évjárata, méz, faévgyűrűk, gyapjúszőnyegek kora stb.

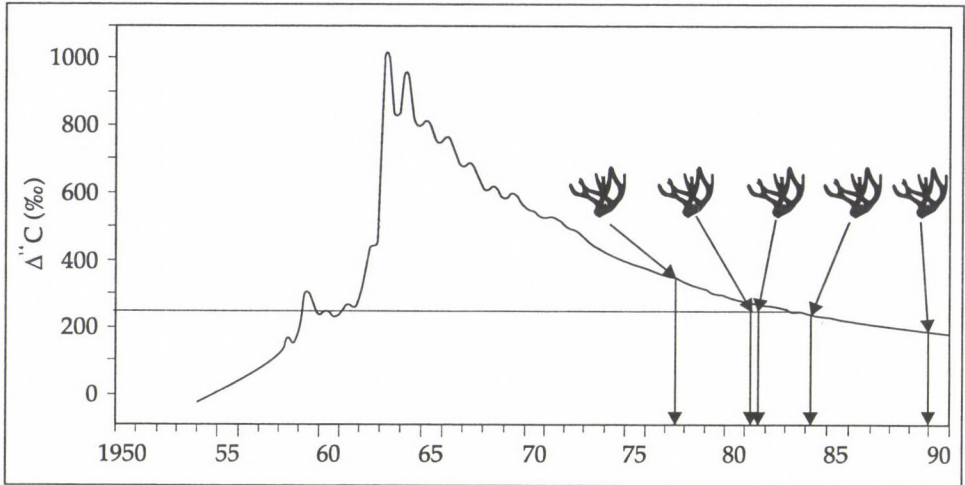
Trícium

A légköri atombomba-robbantásokkal, elsősorban a termonukleáris (hidrogén-bomba) kísérletekkel nagy mennyiségű trícium (T) került a sztratoszférába. 1963-tól a légköri atomcsend-egyezmény életbe lépése után a sztratoszféra HTO-készlete fokozatosan csökkent. Napjainkban más antropogén tríciumforrások hatása már jelentősebb a nukleáris fegyverkísérletekénél.

A trícium röviddel felezése után vízzé oxidálódik, és bekerül a földi víz körforgásába. A klasszikus tríciumos vízkor-meghatározási módszer feltételez egy ismert beszívárgáskori tríciumkoncentrációt, mely a mintázás idejéig (a csapadéktól a mintázásig eltelt időt nevezzük vízkornak) a radioaktív bomlástörvény szerint exponenciálisan csökken. Ha meg tudjuk mérni a mintázás után a víz tríci-



2. ábra. A német és grúzai borok etanoltartalmából származó széntöbbslet radiokarbon-aktivitása az NBS standardra vonatkoztatva [10]


 3. ábra. Szarvasagancsok kora a ^{14}C -többlet alapján

umkoncentrációját, és valamilyen módon ismert a beszivárgáskori koncentráció, a kor a

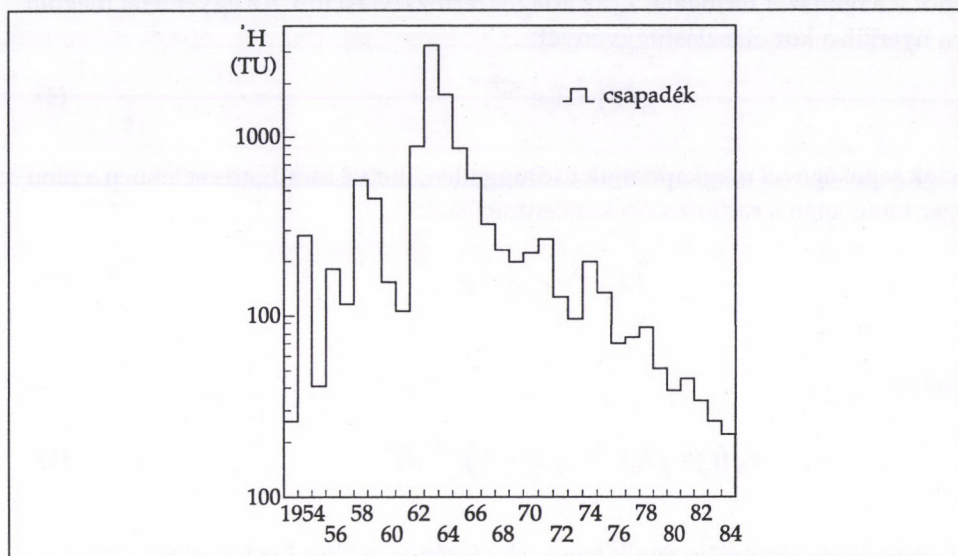
$$t = \frac{T_{1/2}}{\ln 2} \ln \frac{A_0}{A} \quad (1)$$

képlettel számolható ki. Itt $T_{1/2}$ a trícium felezési ideje, A a minta fajlagos aktivitása, A_0 a beszivárgáskor mutatott aktivitás [20]. Mivel minden víztartóban a kor egy eloszlásfüggvénnyel jellemezhető, gyakorlati jelentősége van az átlagos tartózkodási időnek, melyet az alábbi képlettel adhatunk meg:

$$T_0 = \frac{\sum_i t_i V_i}{V_0} = \frac{1}{V_0} \int_0^\infty V dt, \quad (2)$$

ahol V_i a rendszer egy részében t_i időt eltöltő víz térfogatát jelenti, V_0 a rendszer teljes térfogata.

Az átlagos tartózkodási idők kiszámításához közelítően ismernünk kell a víztartó működését. A közelítésekhez általában egyszerűsített modelleket hívunk segítségül. A modellek segítségével a hidrológiai rendszer kimenetén lévő radioizotóp-koncentrációk számolhatók, ha ismertek – vagy becsültek – a bemeneti koncentrációk. A számolt koncentrációkat összevetve a ténylegesen mért értékekkel, információt kaphatunk arra, hogy a modell és ezáltal az átlagos tartózkodási



4. ábra. A csapadék tríciumkoncentrációjának változása a légköri nukleáris fegyverkísérletek következményeként [12–19]

dási idő milyen mértékben közelíti a valóságot. Karsztrendszerekben és olyan víztartóknál, ahol a víztömegek jól keverednek, a leggyakrabban alkalmazott közelítés az exponenciális modell [21]. Ennél a modellnél azt tételezzük fel, hogy a rendszerben a növekvő korú vizek részaránya exponenciálisan csökken. Feltételezzük továbbá, hogy a rendszerbe beszivárgó víz mennyisége (A) egyenlő a rendszerből távozó víz mennyiségével, és mindkettő időben állandónak tekinthető. A rendszer kimenetein a radioizotóp-koncentráció megegyezik a rendszer átlagos radioizotóp-koncentrációjával. Ez azonban nem jelenti, hogy a rendszernek homogénnek kell lennie. Ezen feltételekből a radioaktív bomlást is figyelembe véve, az alábbi inhomogén lineáris differenciálegyenlet következik

$$c_{ki} = \lambda_0 c_{be} - (\lambda_0 - \lambda) c_{ki}, \quad (3a)$$

$$\lambda_0 = \frac{A}{V} = \frac{1}{T_0}, \quad (3b)$$

ahol V a rendszer térfogata, T_0 az átlagos tartózkodási idő. Az egyenletet megoldva nyerjük a kor eloszlásfüggvényét:

$$g(T) = \lambda_0 e^{-\lambda_0 T}. \quad (4)$$

Ezek segítségével megkaphatjuk időfüggetlen, illetve időfüggő esetekben a rendszer kimenetén a radioizotóp-koncentrációkat:

$$c_{ki} = \int_0^{\infty} \lambda_0 e^{-\lambda_0 T} c_{be} e^{-\lambda T} dT, \quad (5)$$

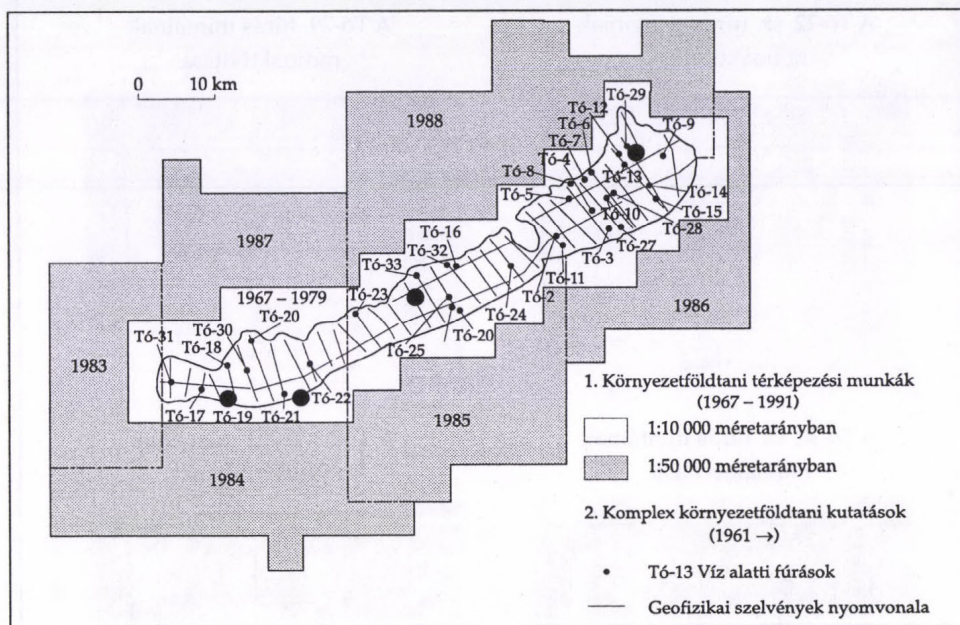
illetve

$$c_{ki}(t) = \int_0^{\infty} \lambda_0 e^{-\lambda_0 T} c_{be}(t-T) e^{-\lambda T} dT. \quad (6)$$

Az adriai szigetvilág egyik legszebb részének, a Cres Losinj szigetcsoporthoz tartozó vízellátását egyetlen karsztvíztó, a Vrana tó biztosítja, mely mintegy 220 millió m³ édesvizet tárol. Legmélyebb pontján eléri a 70 m mélységet (60 m-rel a tengerszint alatt) [22–23]. A légköri nukleáris fegyverkísérletek által termelt trícium segítségével meghatároztuk a tóban a víz átlagos tartózkodási idejét. Megállapítottuk, hogy a víz tríciumtartalma nem függött a mélységtől, és a tó bármely pontján hasonló volt (21,1–23,7 TU volt 1992-ben). Ugyanakkor ez az érték meghaladta az akkori csapadékban vagy a Rijeka környéki források vizében mért tríciumkoncentráció-értékeket. Ez arra utal, hogy a tó vizében régebbi, nagyobb tríciumtartalmú csapadékvizek keverednek a friss csapadékvízzel. Izotópanalitikai vizsgálatok mind a deutérium, mind a ¹⁸O izotóp jelentős dúsulását mutatták, aminek alapján a trícium esetében mintegy 10%-os dúsulásra következtethetünk. Az átlagos tartózkodási időt a (6) képlet segítségével számítottuk, és figyelembe vettük a párolgás miatti 10%-os tríciumdúsulást. A számításhoz az IAEA csapadékgyűjtő hálózatának genovai állomásáról származó trícium-idősort használtuk fel (c_{be}). Ezt figyelembe véve a mért tríciumkoncentráció-értékek alapján 30 ± 5 év átlagos tartózkodási idő adódott [24–25].

¹³⁷Cs

A légköri nukleárisfegyver-kísérletek és reaktorbalesetek következtében a ¹³⁷Cs antropogén szennyezőként jelen van a talajban, és lehetőséget ad bizonyos felszíni folyamatok, például folyók, tavak szedimentációs folyamatainak tanulmányozására. A csernobili reaktorbaleset során ¹³⁴C és ¹³⁷Cs izotóp 1:2 arányú keveréke



5. ábra. A Balaton környéki földtani kutatások helyszínrajza

került a környezetbe. A balesetet követő néhány évben a két Cs izotóp eltérő felezési ideje révén lehetőség nyílt a csernobili eredetű, és a korábbi léggöri atomfegyver-kísérletekből származó izotóp arányának becslésére.

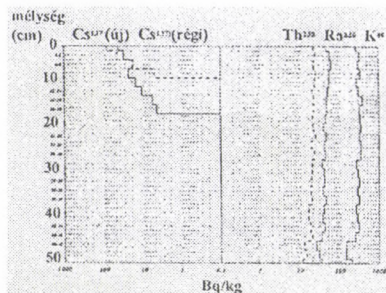
A Balaton-kutatósi program keretében négy fúrás (Tó-22, Tó-29, Tó-30, Tó-33, lásd 5. ábra) felső 50–80 cm vastag iszaprétege került mintázásra egyenletesen, 2 cm sűrűséggel. A fúrásminták rétegenkénti radiológiai vizsgálata az adott iszapréteg ^{134}Cs , ^{137}Cs , valamint a természetes gamma-sugárzó izotópok aktivitáskoncentrációjának meghatározására irányult.

A mérések eredményeinek arra a kérdésre kellett választ adniuk, hogy:

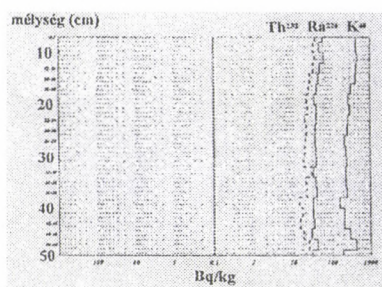
- Fellelhetők-e a Balaton iszapjában a léggöri nukleáris fegyverkísérletek és a csernobili reaktorbaleset kihullási maximumai?
- Fenti értékek ismeretében mennyi az adott területen az iszap-felhalmozódási sebessége?
- Egyenletes mértékű-e az iszap felhalmozódása a Balaton minden részén?
- A balatoni viharok során milyen vastagságban keveredik fel az iszap felső része?
- Történik-e a víz alatti üledékelhordás a tóban?

A fúrások helye Landsat úrfotó segítségével került meghatározásra: a Tó-33 fúrás körzete nagy mennyiségben tartalmazott lebegő szedimentumot, a Tó-22 és Tó-30

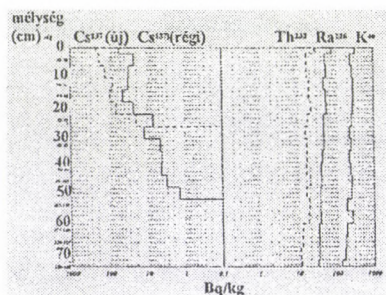
A Tó-22. sz. fúrás mintáinak
radioaktivitása



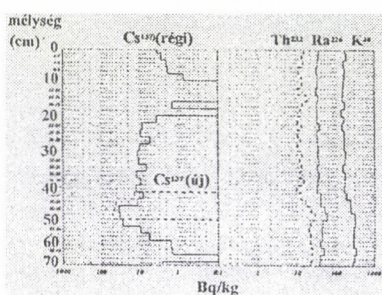
A Tó-29. fúrás mintáinak
radioaktivitása



A Tó-30. sz. fúrás mintáinak
radioaktivitása



A Tó-33. fúrás mintáinak
radioaktivitása



6. ábra. Természetes és mesterséges radioaktív izotópok megjelenése
a Balaton különböző helyein az iszapban a mélység függvényében

fúrás körzetében átlagos volt a lebegtetett iszap mennyisége, a Tó-29 környezetében valószínűsíthető volt az iszapelhordás. A mérési eredményeket a 6. ábra mutatja.

A mérési eredmények tanúsága szerint a Balaton iszapjának fellelhetők az 1950-es évektől a légkörbe kerülő mesterséges radioaktívizotóp-szennyeződések, általában jól mérhetők az 1962-es atomcsendegyezmény előtti légköri nukleáris-fegyver-kísérletek és a csernobili reaktorbaleset során a légkörbe jutott, majd lera-kódott Cs radioizotópok. A Tó-22 és Tó-30 fúrások alapján megállapítható, hogy a Szigligeti-öböl közepén, nyugodt hidrológiai körülmények között, az iszapfel-halmozódás sebessége az elmúlt 40 év során 1,4 cm/év, az öböl keleti határán 0,5 cm/év volt. A feliszapolódás mértéke nemcsak helyileg mutat eltérést, hanem intenzitása időben is változik, az utóbbi években rohamosan nő: az elmúlt 5 évben ezek az értékek a Szigligeti-öböl említett régióiban 6 cm/év, illetve

2 cm/év. A Tó-29 fúrás adatai alapján víz alatti üledékelhordás, a Tó-33 alapján többletüledék-akkumulálódás is végbemegy a tóban. Az egyes ^{137}Cs izotópcsúcsok 2-3 cm-es mélységtartományban való megjelenése arra utal, hogy a balatoni viharok hatására kb. 2-3 cm vastagságú réteg kavarodik fel.

Irodalom

1. Carter, M. W. and Moghissi, A. A.: Three Decades of Nuclear Testing. *Health Physics*, 1977, 33, 55.
2. Zander, I., Araskog, R.: *Nuclear Explosions, 1945–1972*. Basic data, research Institute of National Defence, Dept. 4, FOA 4 Report, A 4505-A1, 1973.
3. Telegadas, K.: *The Seasonal Atmospheric Distribution and Inventories of Excess Carbon-14 from March 1955 to July 1959*. Fallout Program Quaternary Summary Report, June 1. 1971.
4. Hardy, E. P.: *USAEC Report HASL-243*. Us. At. Energy Comm., Health and Safety Laboratory, NTIS, July 1, 1971.
5. Hertelendi E., Csongor É.: A légköri nukleáris fegyverkísérletek szennyező hatásai. In Kiss D. (szerk.): *A fegyverkezési verseny és a nukleáris háború*. Budapest, KFKI (Központi Fizikai Kutatóintézet), 1985, 77 p.
6. Walton, A., Baxter, M. S., Callow, W. J. and Baker, M. J.: *Radioactive Dating and Methods of Low-level Counting*. IAEA, Vienna, 1967.
7. Csige I., Hakl J., Hertelendi E., Hunyadi I.: Radioaktivitás a légkörben és környezeti hatásai. In Koltay E. (szerk.): *Fejezetek a környezetfizikából*. Debrecen, KLTE-Atomki Közös Fizikai Tanszék, 1994, 70 p.
8. Fairhall, A. W. and Young, J. A.: Radionuclides in the Environment. *Advances in Chemistry Series*, 1970, 93, 401.
9. Levin, I., Münnich, K. O. and Weiss: The Effect of Anthropogenic CO_2 and ^{14}C Sources on the Distribution of ^{14}C in the Atmosphere. *Radiocarbon*, 1980, 22, 379.
10. Hertelendi E.: *Légköri atomfegyver-kísérletek által termelt radiokarbon beépülése fák évgűrűibe*. Egyetemi doktori értekezés. Debrecen, MTA Atommagkutató Intézete, 1980, 113 p.
11. Hertelendi, E., Csongor, É.: Anthropogenic ^{14}C Excess in the Troposphere Between 1951 and 1978 Measured in Tree Rings. *Radiochemical and Radioanalytical Letters*, 1982, 56, 103.
12. Environmental Isotope Data No. 1.: World Survey of Isotope Concentration in Precipitation (1953–63). *Technical reports series No. 96*. IAEA, 1969.
13. Environmental Isotope Data No. 2.: World Survey of Isotope Concentration in Precipitation (1964–65). *Technical reports series No. 117*. IAEA, 1970.
14. Environmental Isotope Data No. 3.: World Survey of Isotope Concentration in Precipitation (1966–67). *Technical reports series No. 129*. IAEA, 1971.
15. Environmental Isotope Data No. 4.: World Survey of Isotope Concentration in Precipitation (1968–69). *Technical reports series No. 147*. IAEA, 1973.
16. Environmental Isotope Data No. 5.: World Survey of Isotope Concentration in Precipitation (1970–71). *Technical reports series No. 165*. IAEA, 1975.
17. Environmental Isotope Data No. 6.: World Survey of Isotope Concentration in Precipitation (1972–75). *Technical reports series No. 192*. IAEA, 1979.
18. Environmental Isotope Data No. 7.: World Survey of Isotope Concentration in Precipitation (1976–79). *Technical reports series No. 227*. IAEA, 1983.
19. Environmental Isotope Data No. 8.: World Survey of Isotope Concentration in Precipitation (1980–83). *Technical reports series No. 264*. IAEA, 1986.
20. Libby, W. F.: History of Tritium. In Moghissi, A. A. and Carter, M. W. (szerk) *Tritium. Messenger Graphics*, 1973, 3.
21. Balogh K., Csige I., Hakl J., Hertelendi E., Hunyadi I.: Litoszféra és hidroszféra. A geológiai környezet állapotának vizsgálata. In Koltay E. (szerk.): *Fejezetek a környezetfizikából*. Debrecen, KLTE-Atomki Közös Fizikai Tanszék, 1994, 134 p.

22. Biondič, B., Dukarić, F., Hinić, V., Hrvojić, E., Grgić-Kapelj, S. and Mesić, S.: Hydrological Aspects of Groundwater Protection in Kvarnej Bay Area and in Koršula Island. In Hertelendi E., Lénárt, L. and Svingor, É. (szerk.): *ISOKARST '94. Proc. of the International Workshop on Environmental Isotope Study of Karst Systems*. Miskolc, 1994. okt. 3-4. Miskolc, Miskolci Egyetem, 1995, 2–26.
23. Biondič, B., Šarin, A., Hertelendi E., Dukarić, F., Hinić, V., Hrvojić, E., Goatti, V., Ivičić, D., Grgić-Kapelj, S., Korolija, B., Singer, D., Biondič, R and Mesić, S.: National Report of Croatia. In *Karst Groundwater Protection. Final Report of COST Action 65, EUR 16547*. Office for Official Publications of the European Communities, Brussels-Luxembourg, 1995, 65-87.
24. Hertelendi, E., Svingor, É., Rank, D. and Futó, I.: Isotope Investigation of Lake Vrana and Springs in the Kvarner Area. 1. *hrvatski geološki kongres, Zbornik radova, Zagreb, 1*, 201–205.
25. Hertelendi, E., Veres, M., Mikó, L., Futó, I., Lénárt, L., Hakl, J. and Svingor, É.: Environmental Isotope Study of Karst Systems. In Hertelendi, E., Lénárt, L. and Svingor, É. (szerk.): *ISOKARST '94. Proc. of the International Workshop on Environmental Isotope Study of Karst Systems*. Miskolc, 1994. okt. 3-4. Miskolc, Miskolci Egyetem, 1995. 36–179.

Felületközeli, hosszú élettartamú pozitronium-állapotok mikropórusos rendszerekben

Előzmények, célkitűzés

A magfizikai eszközök és mérési módszerek alkalmazásaira a magfizikán kívül a fizika és anyagszerkezet-kutatás számos egyéb területén is szükség van. Az elmúlt évtizedekben lezajlott tudományos és technológiai fejlődés következtében a kutatás a térben egyre jobban lokalizált objektumok és az időben egyre gyorsabban lejátszódó jelenségek megismerésére és megértésére irányul, ami a magfizikai módszerek alkalmazásai iránti újabb és újabb igényt jelent. Kondenzált szilárd anyagok esetén a rács- és elektronszerkezet vizsgálatára az egyik legjobb módszernek olyan atomi-, vagy elemirészecske-szondák alkalmazása bizonyult, melyek a tanulmányozandó minta ionjaival vagy elektronjaival kölcsönhatva ezen kölcsönhatásról karakterisztikus módon adnak hírt.

A pozitronannihiláció (PA) vizsgálata a pozitron elméleti jóslása [1] és ezt hamarosan követő kísérleti felfedezése [2] óta a fizikai alap kutatás számos fontos új felismeréséhez vezetett (s ma is pl. a nagyenergiás részecskefizika egyik központi témája), a következőkben azonban mi csak az alapjelenségből kifejlesztett vizsgálati módszerek néhány érdekes alkalmazásával foglalkozunk. A pozitronannihilációs spektroszkópia (PAS) az elmúlt évtizedekben a „nukleáris szondás” anyagszerkezeti vizsgálati módszerek egyik széleskörűen alkalmazható eljárásává érett.

A PAS alkalmazási alapja az elektron-pozitron pár „megsemmisülésekor” keletkező annihilációs γ -sugárzás észlelése [pl. 3], ami mérés technikailag rutinszerűen megoldható feladat. Az annihilációs γ -fotonok tulajdonságait a megmaradási törvényeknek megfelelően az elektron-pozitron pár (s dominánsan az elektron) annihilációt megelőző állapota határozza meg. A γ -kvantumok energia- és impulzusviszonyainak meghatározásából olyan, a tanulmányozott minta elektronszerkezetével és kristálystruktúrájával kapcsolatos információt nyerhetünk, mely más módszerekkel nem (vagy csak nehezen) elérhető. Ennek alapja az

a tény, hogy az annihiláció hatáskeresztmetszete csak a már lelassult, „termalizálódott” pozitronokra lesz jelentős, így a jellemző annihilációs paraméterek (pozitron-élettartam, az egyes annihilációs csatornák relatív intenzitása, a γ -kvantumok szög- és energiaeioszlása, a 2γ -annihiláció során keletkező 0,511 MeV energiájú annihilációs csúcs Doppler-kiszéledésének mértéke) jól kapcsolatba hozhatók meghatározott elektronállapotokból kiragadott elektronokkal kialakuló annihilációs csatornákkal. Ezek létrejötte, versengése, kontrollált fiziko-kémiai behatásokra bekövetkező változásai lehetőséget biztosítanak a tanulmányozott minta bizonyos – elektronszerkezet-változások által is tükrözött – szerkezeti változásainak vizsgálatára. Az egyik legkézenfekvőbb alkalmazás alapja az, hogy üres térfogattal és így lokálisan kisebb elektronsűrűséggel járó strukturális hibahelyek (diszlokációk, vakanciák, üregek stb.) előfordulása egy kondenzált mintában karakterisztikus annihilációs paraméterek megjelenésével észlelhető. Alacsonyabb elektronsűrűségű környezetből végbemenő annihiláció hosszabb pozitron-élettartamok megjelenésében nyilvánul meg. Hasonlóképpen könnyen belátható, hogy az elektronsűrűség növekedése az élettartamok rövidülését eredményezi. Általában a kísérleti adatok azt mutatják, hogy fémekben a „tömbi” (bulk) annihiláció 0,12-0,2 ns élettartammal játszódik le, míg ha pozitron-csapdák (pl. a pozitív ionok hiánya által kialakult vakanciák) vannak jelen, akkor ezek méretétől és koncentrációjától függően a bennük befogódott pozitronok szétsugárzódását az előzőekben tapasztaltnál lényegesen hosszabb (0,25-0,6 ns hosszúságú) élettartam-komponensek jelzik. Természetesen ilyen „csapdába esett” pozitronok jelenléte az annihilációs γ -sugárzás energia- és impulzus-eloszlásában is visszatükröződik és azonosítható.

Ha az annihilációt megelőzően az elektron-pozitron pár kötött állapotot is tud alkotni, akkor újabb karakterisztikus paraméterekkel jellemezhető, s általuk azonosítható annihilációs csatornák nyílnak ki. A legkönnyebb (és „radioaktív”) hidrogénizotópnak is tekinthető kötött állapot, a pozitronium (Ps) az eredő spin-állapottól függően szinglet-állapotú parapozitronium (1S_0 , p-Ps) vagy triplet ortopozitronium (3S_1 , o-Ps) lehet, melyek közül a p-Ps nagyon rövid (0,124 ns) az o-Ps pedig nagyon hosszú (142 ns) élettartammal annihilálódik. Az o-Ps élettartamának ezen utóbbi értéke csak vákuumban megfigyelhető, reális közegekben a környezettel végbemenő kölcsönhatás (többnyire egy külső elektronnal végbemenő lecserélődés következtében) az o-Ps élettartamának drasztikus lerövidülését eredményezi. A p-Ps/o-Ps képződési arány 1/3, amit azonban csak vákuumban, kölcsönhatások hiányában fognak az annihilációs paraméterek tükrözni, hiszen minden olyan kölcsönhatás, mely az o-Ps felbomlását vagy átalakulását eredményezi, értelemszerűen megváltoztatja a képződéskor érvényes arányt.

A különböző pozitron- vagy pozitroniumállapotok azonosításának az élettartamok mérésén kívül fontos eszköze a szétsugárzás közben keletkező γ -kvantu-

mok számának és energiaeloszlásának meghatározása is, hiszen az eddig elmondott folyamatok közül csak az o-Ps saját annihilációja megy végbe 3γ -emisszióval, míg minden más pozitron- illetve Ps-állapot bomlása lényegében 2γ -szétsugárzással játszódik le. (A szabad annihiláció során a $3\gamma/2\gamma$ arány mindössze $1/372$.) A pozitroniumképződés feltételei között az „elegendő hely” meglétén, valamint a „nem túl könnyen hozzáférhető” elektronok jelenlétén kívül számos egyéb olyan tulajdonság és paraméter is szerepel, melyek részben még jelenleg is vitatottak (pl. a pozitrontermalizáció részletei, a pozitron- nyomvonal – spur – mentén kialakuló elektronok diszperziója, a Ps részvétele kémiai kötésekben, stb.).

A pozitronannihiláció jelenségének kísérleti igazolása után a PAS fejlődése már az 1950-es években megindult, de rutinszerű alkalmazásokról tulajdonképpen csak a '60-as évek közepétől beszélhetünk. Az érdeklődés kezdetben az elektronszerkezet-vizsgálatokra koncentrálódott, hiszen ezen a területen a pozitronannihiláció flexibilisebb lehetőséget jelentett, mint a többi, erre a célra szolgáló kísérleti eljárás, ugyanis alkalmazhatósága nincs alacsony hőmérsékletekre, vagy híg ötvözetekre korlátozva (egy tetszőleges mintába „belőtt” pozitron előbb-utóbb mindenképpen találkozik olyan elektronnal, mellyel az annihiláció végbemegegy). Ennek megfelelően az alkalmazások [4–6] igen rövid idő alatt a szilárdtest-fizikai és anyagtudományi kutatás számos aktuális területére kiterjedtek. Sőt, ezeken túlmenően hamarosan a kémia, biológia, biofizika, valamint az orvosi diagnosztika területei is megjelentek. Tovább nőtt az alkalmazások iránti érdeklődés akkor, amikor kiderült, hogy a pozitroniumképződés vizsgálata is értékes információt tud nyújtani a Ps környezetéről, ráadásul lényegesen kiterjedtebb méretskálán, mint a pozitron esetében. Különösen nagy meglepetést okozott az, hogy mikrokristályos porokban esetenként nagymérvű Ps-képződés észlelhető [7], s ráadásul a vákuumban mérhetőnél csak néhány százalékkal rövidebb élettartamértékekkel. A modern kémiai-technológiai eljárások kivitelezésében alapvető szerepet játszó, szilárd fázisban lejátszódó fizikai-kémiai átalakulások vizsgálatánál a pozitroniumnak, mint „szondának” nagy jelentősége lehet. Ennek köszönhető, hogy a nagy fajlagos felülettel rendelkező, nagy porozitású anyagok, pl. a zeolitok [8] kutatása az utóbbi években nagyobb lendületet nyert a PAS módszereivel is [9–11].

Mikropórusokat tartalmazó zeolitokban és igen kis szemcseméretű kristályokból álló mikrokristályokban a kondenzált rendszerekben tapasztalható $0,2\text{ ns} - 2\text{ ns}$ hosszúságú élettartamértékek mellett $20 - 140\text{ ns}$ élettartamú annihilációs állapotok is megfigyelhetők. Ennek magyarázata az, hogy a mikroszemcsés kondenzált rendszerben a környezettel gyengén kölcsönható pozitronium (s így természetesen o-Ps és p-Ps is) tud kialakulni. A nagyon rövid élettartamot eredményező p-Ps keletkezése nem észlelhető könnyen, a Ps-képződés árulkodó jele tulajdonképpen az o-Ps annihilációjához kapcsolható hosszú élettartamú kompo-

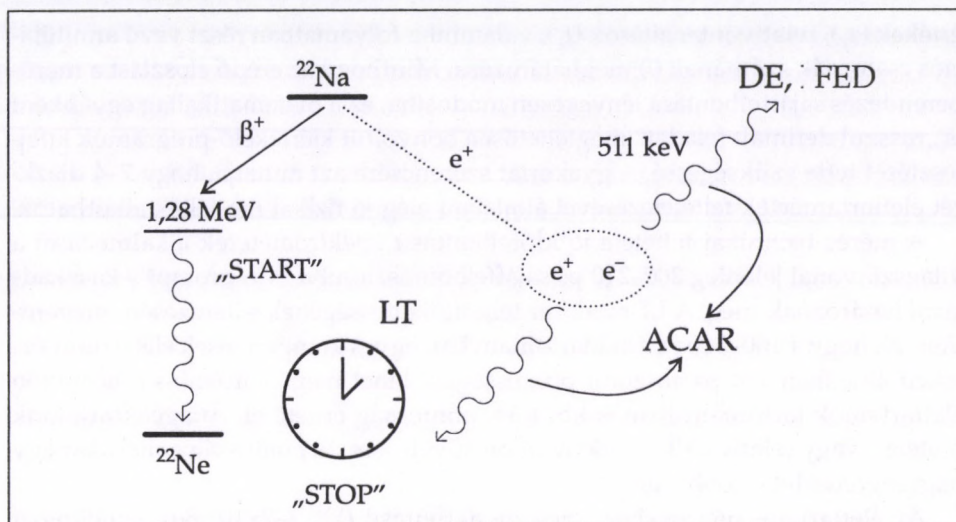
nensek megjelenése, ami viszont a környezettel való relatíve gyenge kölcsönhatást tételez fel. A kölcsönhatás típusa (pl. mágneses kioltás /quenching/, konverzió, elektroncsere, stb.) és erőssége azonosítható egyrészt az élettartam-jellemzők módosulásából, másrészt abból a változásból, amelyet az annihiláció során keletkező γ -sugárzás energiaszétválásában észlelünk.

Figyelmünket a porózus anyagok után kezdetben az keltette fel, hogy a PA különböző változatainak pontosabb megismerése és azonosítása céljából a 3γ -annihiláció jelenségével kívántunk foglalkozni, s olyan mintákat kerestünk, melyekben a 3γ -emisszió nagy valószínűséggel fordul elő. A kis szemcseméretű, nagy porozitású anyagokról már hosszabb ideje ismert volt az, hogy bennük jelentős mértékű Ps-képződés megy végbe, s a megfigyelhető hosszú élettartam szükségszerűen az o-Ps 3γ -annihilációját jelzi. A legmegfelelőbb minták keresése közben jutottunk el a zeolitokhoz, melyek gyakorlati alkalmazhatósága – az olajipartól a gyógyszeriparon át számos területen – közzismert. (A mosószereknek is lényeges alkotóelemeit képezik, de nedvesség- és szagtároló képességük miatt egyéb háztartási felhasználásaik is meglehetősen mindennaposak.) Az első eredmények analízise során aztán hamar kialakult az az elképzelés, hogy a számunkra eredetileg csak alkalmas „lőteret” jelentő minták szerkezetvizsgálata a PAS segítségével a kutatás tárgyává válhat, hiszen a hosszú élettartam célzottan létrehozott változásai igen érzékeny mérési módszer alapjává tehetők. Az o-Ps „idő előtti” annihilációjának észlelése s a lerövidülés mértékének a zeolit-szerkezet változásaival, illetve beültetett ionokkal végbemenő kölcsönhatásokkal való összekapcsolása olyan információt adhat a szilárd fázisban lejátszódó folyamatokról, mely a felhasználások szempontjából is fontos. Az o-Ps-járulék meghatározása lehetőséget nyújt a mikro- és nanoszekezetek belső felületein lejátszódó Ps-reakciók, s így közvetve ezen felületek vizsgálatára. A kristályszerkezetben lejárló átrendeződések és ezek dinamikája is tanulmányozhatók a különböző mikroszkopikus és makroszkopikus hatások (hőkezelés, kémiai kölcsönhatások, fiziszorbción, stb.) függvényében.

Mielőtt néhány jellemző mérési eredmény ismertetésével és értelmezésével képet adunk a pozitronannihilációs spektroszkópia alkalmazhatóságáról, az eredmények értelmezhetősége céljából röviden ismertetjük a PAS legfontosabb módszereit.

A pozitronannihilációs spektroszkópia (PAS)

A PAS alapját képező fizikai folyamatot és a belőle kiolvasható információt sematikusan az 1. ábra szemlélteti. A mérésekhez szükség van egy pozitronforrásra, mely a legegyszerűbb esetben egy radioaktív izotóp (legelterjedtebb a ^{22}Na , ugyanis itt a pozitron emisszióját is jelzi egy γ -kvantum kibocsátása, s ráadásul



1. ábra. A pozitronannihiláció jelensége, és a rajta alapuló spektroszkópai módszerek szemléltetése (ACAR: Angular Correlation of the Annihilation Radiation = szögkorrelációs módszer, LT: Lifetime Spectroscopy = élettartam-spektroszkópia, DE/DB: Doppler-effect, Doppler-broadening = Doppler-kiszélesedés mérése).

felezési ideje is hosszú, mintegy 2,5 év), de lehet párkeltés vagy nukleáris reakció is, ami viszont jelentősen korlátozza a módszer hozzáférhetőségét. A pozitronok energiája (akár párkeltés, akár radioaktív bomlás során keletkeznek) széles eloszlással a keletkezéskor a néhány száz keV tartományba esik. Az annihiláció beindulása csak alacsony (lényegében termikus) energiákon következik be. A szükséges mértékű energiavesztésig a pozitronok a mintában akár több száz mikronnyi utat is megtesznek. Amennyiben lassú, néhány keV energiájú pozitronokat alkalmazunk – minthogy ezek behatolási mélysége csak mikron nagyságrendű –, az összes, a bevezetőben említett folyamat szintén végbemehet. A pozitronnyaláb energiájának változtatásával minden fizikai információ a mélység függvényében is meghatározható.

A PAS konvencionális alkalmazásai összességükben olcsó módszerek. A rutinszerűnek tekinthető eljárások a következők:

Élettartam-mérés [*LifeTime spectroscopy*, LT]: a pozitron-emissziót jelző „prompt” ($1,28 \text{ MeV}$ energiájú) és az annihilációt jelző (többnyire 511 keV energiájú) γ -kvantumok közötti időkülönbség eloszlásának mérése. A feladat $0,1\text{--}140 \text{ ns}$ közötti bomlásállandókkal rendelkező élettartam-komponensek regisztrálását jelenti. A mért spektrum több exponenciális bomlásfüggvény és a sajátfelbontás Gauss-szerű függvénye konvolúciójaként írható le. Az élettartammérések kiértékelése során a cél a különböző annihilációs csatornákhöz rendelhető élettartam-

értékek (τ_i), relatív intenzitások (I_i), valamint a folyamatban részt vevő annihilációs csatornák számának (i) meghatározása. Minthogy az eredő eloszlást a mérőberendezés sajátfelbontása lényegesen módosítja, ez a matematikailag egyébként is „rosszul definiált feladat” meglehetősen bonyolult kiértékelő-programok kifejlesztését tette szükségessé. A gyakorlat szerencsére azt mutatja, hogy 2–4 diszkrét élettartamérték feltételezésével általában elég jó fizikai modellek alkothatók.

A mérés technikai feltétele jó időfelbontású spektrométerek alkalmazása: a világszínvonal jelenleg 200–240 ps sajátfelbontás, amit a ^{60}Co prompt γ -kaskádjával határoznak meg. A LT módszer teljesítőképességének jellemzésére megemlítendő, hogy a 100–500 ps értéktartományban egyes komponensek élettartam-értékeit általában 1–4 ps abszolút pontossággal lehet meghatározni, s a hosszabb élettartamok tartományában is kb. 1,5% pontosság érhető el. Átlagélettartamok esetére – vagy relatív változások nyomon követésére – a pontosság ennél akár egy nagyságrenddel is jobb lehet.

Az élettartam- mérésekhez alacsony aktivitású (kb. $3\text{--}7 \times 10^6$ Bq), ennél fogva olcsó (3–5 eFt) ^{22}Na forrás elég.

Az annihilációs sugárzás szögkorrelációjának mérése [*Angular Correlation of the Annihilation Radiation, ACAR*]: a 2γ -annihiláció során emittált 0,5 MeV energiájú γ -kvantumok közötti irányeloszlásból az elektronnak az annihilációt megelőző impulzusállapotára lehet következtetni. Ez a módszer az alapja az elektronszerkezet-vizsgálatoknak (pl. Fermi-felületek meghatározásának) a PA segítségével. A gyakorlatban ma már olyan sokdetektoros mérőrendszereket alkalmaznak, melyek megfelelő adatfeldolgozó elektronika segítségével a teljes szögkorrelációs tartomány szimultán mérését teszik lehetővé. A polikristályos mintákra mért eloszlások általában szimmetrikus harang- vagy Gauss-görbékkel írhatók le. Egykristályoknál a kristálytani szimmetriák jelentkeznek a szögkorrelációs eloszlásban, az illesztés alapjául szolgáló elektronszerkezet-számításokat lehetővé tévő fizikai modellek emiatt igen bonyolultak lehetnek. Az adatkiértékelés feladata azonban lényegesen egyszerűbb, mint az élettartamméréseknél.

Megjegyzendő, hogy lényegében az ACAR módszer a mérés technikai alapja a PAS legelterjedtebb orvosi alkalmazásának. A pozitronemissziós tomográfia – PET – arra törekszik, hogy a pozitronbomló radioaktív izotóp térbeli eloszlását meghatározva, ennek irregularitásaiból pl. az agyban lejátszódó kóros folyamatokra vonatkozó információt nyerjen [pl. 12].

Tágabban értelmezve a szögkorrelációs módszert, természetesen a 3γ -annihiláció esetében is van irányfüggés, amiből az o-Ps annihiláció viszonyaira lehet következtetni. Ilyen méréseknél – a megmaradási törvényeknek megfelelően – a szétsugárzódó γ -kvantumoknak mind az irány-, mind az energiaeloszlása jelentősen különbözik a 2γ -annihilációs folyamatoknál érvényesülőtől.

Az ACAR spektrométer lényeges részei a következők: a forrás- és mintatartó állvány (amely a sugárvédelmi leárnýékoláshoz szükséges Pb-védelmet is hordozza), valamint a PA során keletkező γ -kvantumok regisztrálására szolgáló detektorok és a hozzájuk tartozó jelfeldolgozó elektronika. A mérendő térszög lefedése céljából vagy sokelemes mátrixdetektorokat, vagy elegendő geometriai felbontást biztosító, több méter hosszú karokon mozgatott „vonaldetektorokat” szoktak alkalmazni. Egy ACAR berendezés szögfelbontása általában 0.1 mrad, a mérendő tartomány kb. ± 25 mrad.

A hosszú mérési idő rövidítése céljából itt mintegy három nagyságrenddel nagyobb aktivitású forrásokat szokás használni, mint az élettartamméréseknél.

Az annihilációs sugárzás energiaviszonyainak mérése [Doppler-Effect, DE; Full Energy Distribution, FED]: a pozitron-elektron pár mozgásából következően az annihiláció során keletkező γ -kvantumok Doppler-eltolódást szenvednek el, ami azt jelenti, hogy a γ -kvantumok energiája a 0,511 MeV nyugalmi értéktől eltér (itt a domináns 2γ -annihilációról van szó). Ez az effektus a szögkorrelációs módszerrel lényegében azonos információ megszerzését teszi lehetővé.

Az ACAR és a DE közötti különbség tulajdonképpen csak az, hogy míg az ACAR esetében relatíve hosszú mérési idő mellett jó impulzusfelbontást lehet elérni (amit csak a berendezés geometriai szögfelbontása korlátoz), addig a DE alkalmazásaiban a nagyságrendnyivel gyengébb felbontást részben kompenzálja a lényegesen nagyobb elérhető statisztikai pontosság és a flexibilisebb alkalmazhatóság. A DE-méréseket főleg a nagyobb mérhető változással kísért hibaszerkezet-változás vizsgálatokra alkalmazzák. Egyes esetekben a DE és az ACAR kombinálása is megfontolható eljárás lehet, ilyenkor ugyanis a háttér jelentősen csökkenthető.

A DE-mérések kiértékelésére általában elegendő félempirikus paraméterek meghatározása. Így a „relatív csúcsmagasság (S)” és a „relatív szárnymagasság (W)” felhasználása egyszerűbb hibaszerkezet-változások leírására a leggyakrabban elegendő. A két paraméter egyidejű nyomon követése információnyereséget eredményez [13].

A Doppler-kiszélesedés mértéke általában 2,5-3,5 keV, ami az 511 keV-os annihilációs csúcsra mintegy 1.2 keV sajátfelbontást biztosító nagytisztaságú félvezető detektorokkal (s a γ -spektroszkópia szokásos berendezéseivel) már jól mérhető.

Az annihilációs sugárzás teljes energiaspektrumának mérése (FED) abban az esetben fontos, ha a 3γ -járulékot akarjuk meghatározni. Minthogy a 3γ -annihiláció folytonos energiaeloszlást ad, ezek a mérések a DE-méréseknél nagyobb gondosságot igényelnek, a szisztematikus spektrumtorzulások csökkentésére iteratív korrekció szükséges.

Ps-járulék megállapítása [*Ps-fraction, $3\gamma/2\gamma$ fraction, f*]: specifikusan az „elegendően hosszú ideig élő” o-Ps képződésével járó folyamatok vizsgálatára alkalmas. A kísérletben észlelt teljes pozitronszámhoz viszonyítva a hosszú élettartamú állapotok arányát annak alapján állapíthatjuk meg, hogy mekkora hányad hiányzik a 2γ -annihilációhoz rendelhető 0,5 MeV-es γ -fotocsúcsból, illetve mennyire változik meg a teljes annihilációs energiaeioszlás 3γ -szétsugárzáshoz rendelhető járuléka. Ez a mérés szükségessé teszi a pozitronok számának monitorozását, amit vagy az 1,28 MeV-es γ -vonal, vagy a teljes energiaeioszlásban ezzel arányos spektrumtartomány (pl. a 0.5 MeV-es csúcs feletti, az 1.28 MeV-es csúcs-hoz tartozó Compton-hát) mérésével végezhetünk el. Az *f-paraméter* az 1.28 MeV-es csúcsra történő normáláson kívül az 511 keV-es csúcs két oldalának relatív arányából is meghatározható. Ennek elvi alapja az, hogy a 3γ -annihilációkor is egy γ -kvantum lehetséges maximális energiája ~511 keV, de folytonos eloszlással ezen maximális értékig, így az 511 keV-es csúcs baloldali „platósíntje” relatíve megemelkedik a 3γ -annihiláció járuléka miatt.

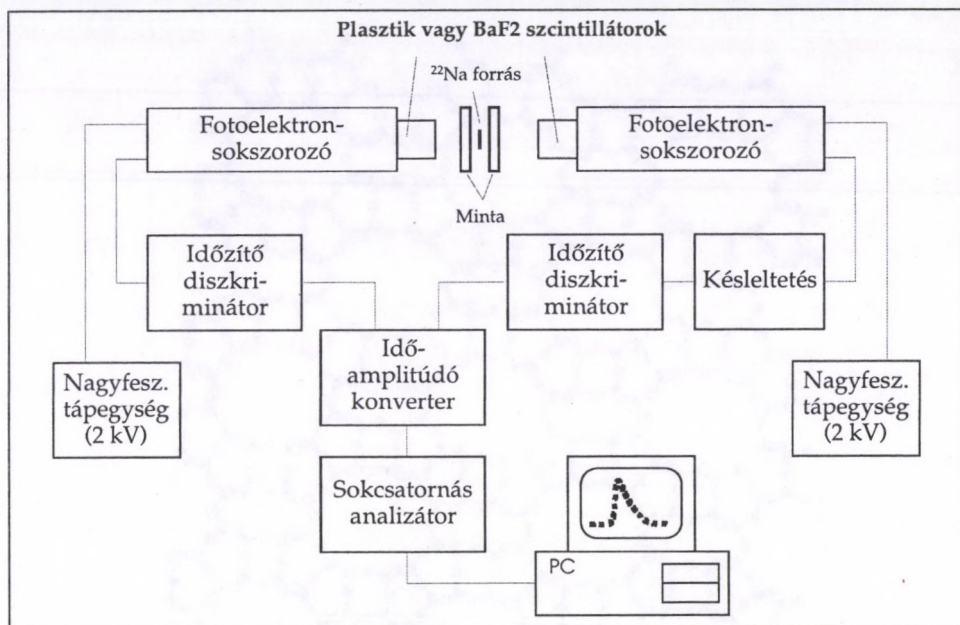
Az adatkiértékelés egyszerű, lényegében kézzel is elvégezhető. Az eredmények értelmezéséhez azonban legalább megközelítőleg ismerni kell a kérdéses o-Ps-állapotok élettartamértékeit is.

A PAS különböző módszerei ismert összetételű és fizikai-kémiai állapotú mintákon végzett mérésekkel (az abszolút értékek tekintetében) hitelesíthetők, de relatív változások nyomon követésére már különösebb előkészületek nélkül is alkalmasak. Általában előnyös többféle PAS módszer eredményeinek összevetése.

A PAS módszereiről és alkalmazásairól a közelmúltban is számos összefoglaló cikk, könyv és konferenciakiadvány jelent meg [pl. 14–17]. A nagyszámú, témaspecifikus kisebb konferencián kívül már a tizenkettedik nagy nemzetközi rendezvényénél (12th International Conference on Positron Annihilation, ICPA-12, München, 2000) tartunk. Magyarország 1991-ben adott otthont az ICPA-9, 1996-ban pedig a kémia eredményeire koncentráló PPC-5 (5th Positron and Positronium Chemistry Workshop) résztvevőinek.

Kísérleti háttér

Az MTA KFKI RMKI Magfizikai Főosztályán a PA alkalmazása csaknem harmincéves múltra tekint vissza. (Hasonló múlttal rendelkezik az ELTE TTK Magkémiai Laboratórium is.) Számos hazai és külföldi kutatási témában kifejtett közreműködésünk révén a PAS mindegyik ismertett módszerében rendelkezünk tapasztalattal, de az ACAR mérőberendezésről mintegy tíz évvel ezelőtt – a radioaktív források árának drasztikus emelkedése miatt – le kellett mondanunk. MÉRŐparkunk alapja jelenleg egy, az LT-mérésekre nagy határfok mellett



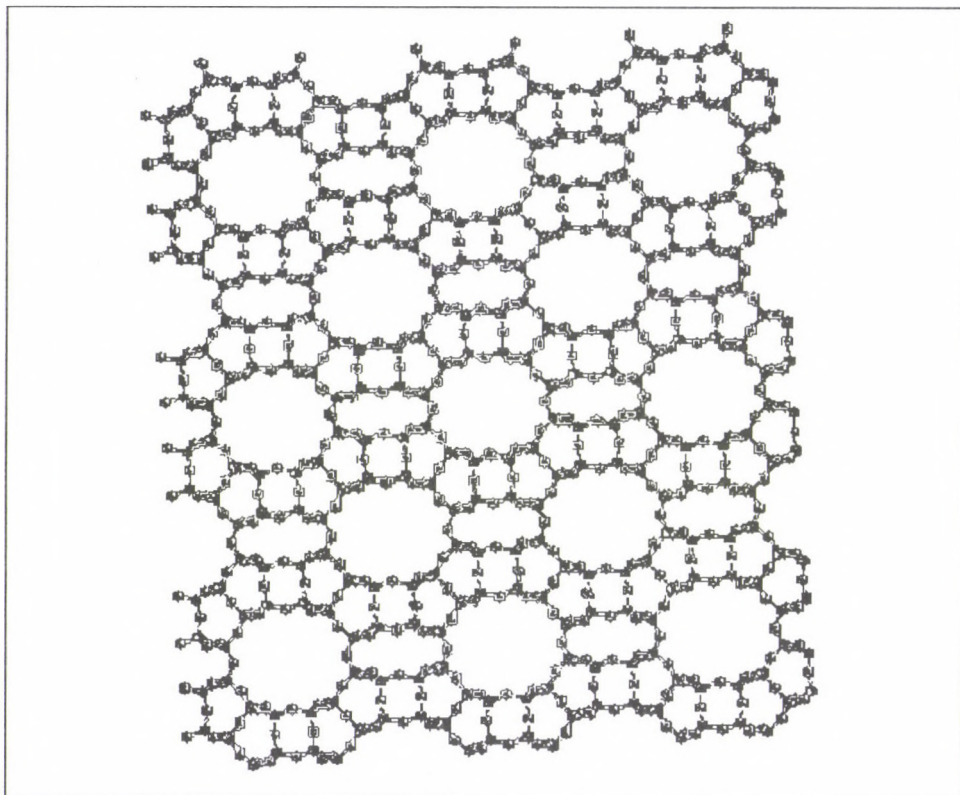
2. ábra. Pozitron-élettartamspektrométerünk vázlata

is jó időfelbontást (225 ps) biztosító élettartam-spektrométer (2. ábra) és egy nagy hatásfokú (25%), jó energiatartományú (1.2 keV FWHM) HPGe félvezető-detektor, melyet DE és FED-mérésekre használunk. (Ezen berendezés lényegében egy szokásos γ -spektrométer, egyedüli specifikuma a regisztrált energiatartomány szokásosnál érzékenyebb skálázása. Esetenként alkalmazzuk a Doppler-koincidencia módszert is, ennek goniométerrel kombinált, iránykorrelált változatát mi dolgoztuk ki [18].)

A PAS során egyedi annihilációs eseményekből készítünk statisztikát. A megfelelő statisztikus pontosság 10^6 - 10^7 esemény regisztrálását igényli, a szokásos mérési idő 0,5–24 h az alkalmazott minta, forrás és mérőmódszer függvényében. Ezért a mérőrendszerek teljesítőképességével (időfelbontás, hatásfok, stabilitás, linearitás stb.) szemben magasak a követelmények.

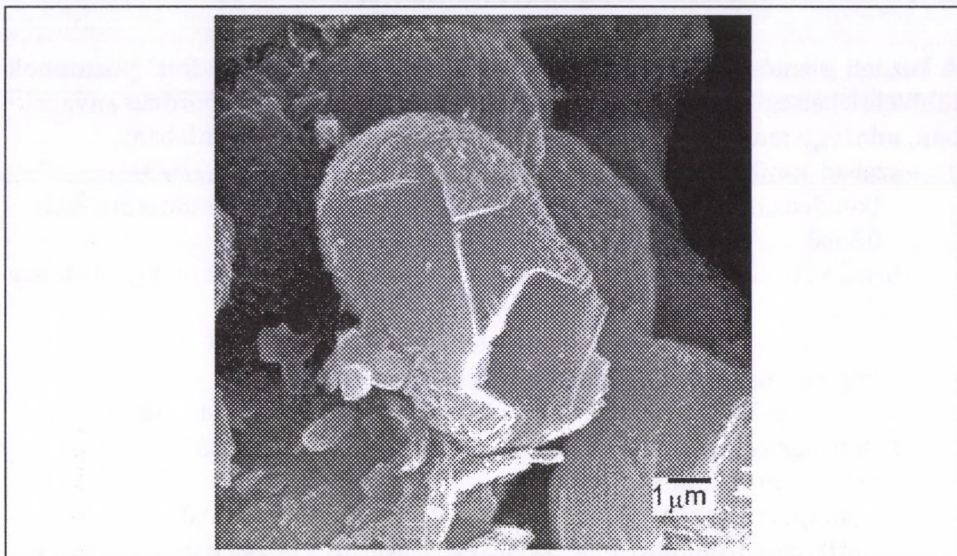
Megkezdtük – az ELTE TTK Magkémiai Tanszékével kooperálva – egy kompakt lassú pozitrongenerátor [19] felépítését is, mely az első ilyen hazai berendezés lesz. Az első demonstrációs mérések eredményesek voltak, azonban a rutinszerű működtetéshez egyelőre még hiányzik a szükséges nagy aktivitású ^{22}Na -forrás.

Számos mikroszemcsés és porózus mintán folytattunk méréseket, pl. MgO , Al_2O_3 , SiO_2 , mikrokristályos porok, szilikalit-1 (MFI), ZSM-5, mordenite, X-, Y-



3a. ábra. Zeolitszerkezet (mordenit)

(„tisztá” és ioncserélt – Pd/Pt, Fe, La, NH_4) zeolitok. A zeolitok esetében a „szerkezeti csontvázon” (3a. ábra) a jelentős szabad térfogatot biztosító üregek (melyek adott irányokban csatornákat alkothatnak), az elektronmikroszkóp-felvételen pedig egy tipikus szemcse karakterisztikus morfológiai tulajdonságai (3b. ábra) láthatók. A különböző minták lehetőséget adtak arra, hogy általános sajátságaikra következtessünk. Célunk volt az is, hogy találjunk olyan modellanyagot, melyben a szerkezet „egyszerű”, s melyre kiterjedt egyéb szerkezetvizsgálati adatokkal is rendelkezünk. Az o-Ps képződésének és viselkedésének jobb megértésére a legjobb modellanyagnak talált, tisztán SiO_2 összetételű szilikalit-1 mintát vizsgáltuk részletesebben [20]. A hőmérsékletfüggést mind vákuumban, mind spektroszkópiai tisztaságú (kb. 1 atm nyomású) N_2 és Ar gáztérben lévő mintákon is tanulmányoztuk, s az o-Ps/p-Ps mágneses keveredés vizsgálatára nagy külső mágneses teret is alkalmaztunk [21–25]. Ezen túlmenően a mintákat olyan folyadékokba is bemerítettük, melyek vagy nagy molekulaméretük (1,3,5-trimetilbenzol) miatt már nem tudták



3b. ábra. Zeolit (mordenit) elektronmikroszkópon készült képe
(Pogány Lajos, KFKI SZFKI felvétele)

kitölteni a belső csatornákat, vagy még éppen elegendően kicsik voltak ahhoz (benzol), hogy mindenhová behatoljanak [26, 27].

A mérések során a vékony (Al, Ni, Mylar- vagy Kapton-) fóliák közé zárt 3–20 MBq aktivitású ^{22}Na pozitronforrást lefedjük a pozitronok elnyeléséhez elegendő vastagságú (0,1–2 mm) mintával. A nagy tisztaságú, illetve ismert ionszenyezettségű mikrokristályokból, illetve zeolitporokból 3–7 GPa nyomással tabletákat sajtoltunk. Zeolitmintákon végzett PAS-vizsgálatok irodalmi eredményei nagy szórást mutatnak, aminek valószínűsíthető okai között a legfontosabb az, hogy a mintákban abszorbeált vizet és gázokat csak hosszadalmas kifűtéssel és intenzív leszívással lehet eltávolítani. A víztartalom meghatározó szerepet játszik a Ps-képződés folyamatában, így csak azonos szintű kifűtésen átesett minták hasonlíthatók össze. Ezért nagy gondot fordítottunk a víztartalom és a o-Ps képződési aránya közötti korreláció vizsgálatára. A mérések reprodukálhatóságát minden esetben ellenőriztük.

Mintatartó kriosztátunk széles (90K–573K) hőmérséklet-tartományban (vákuumban vagy gázatmoszférában) lehetővé teszi LT-, FED- és DE-mérések elvégzését, egyidejűleg is.

Kísérleti eredmények

A kezdeti jelentős kinetikus energiájukat elvesztő „termalizálódott” pozitronok többféle lehetséges annihilációs csatorna közül választhatnak a porózus anyagokban, mint egy rendezett kondenzált (fémese vagy nemfémese) mintában:

- szabad annihiláció: (2γ -szétsugárzás, a $3\gamma/2\gamma$ arány mindössze $1/373$)
(kondenzált rendszerben „tömbi–bulk–annihiláció”, az élettartam $\tau \sim 0,15 - 0,3$ ns)
- befogódás kisméretű hibahelyekben: (2γ -szétsugárzás, a $3\gamma/2\gamma$ arány mindössze $1/373$)
(vakanciaszerű csapdáknál az élettartam $\tau \sim 0,25 - 0,4$ ns)
- befogódás nagyméretű hibahelyekben: 2γ -szétsugárzás
(vakancia-konglomerátum vagy üreg, az élettartam $\tau \sim 0,4 - 0,8$ ns)
- kötött elektron-pozitron állapot (a „H legkönnyebb izotópja”) pozitroniumatom, Ps:
parapozitronium, (p-Ps, $S=0$), 2γ -szétsugárzás ($\tau \sim 0,124$ ns)
orthopozitronium, (o-Ps, $S=1$), 3γ -szétsugárzás, ($\tau \sim 140$ ns)

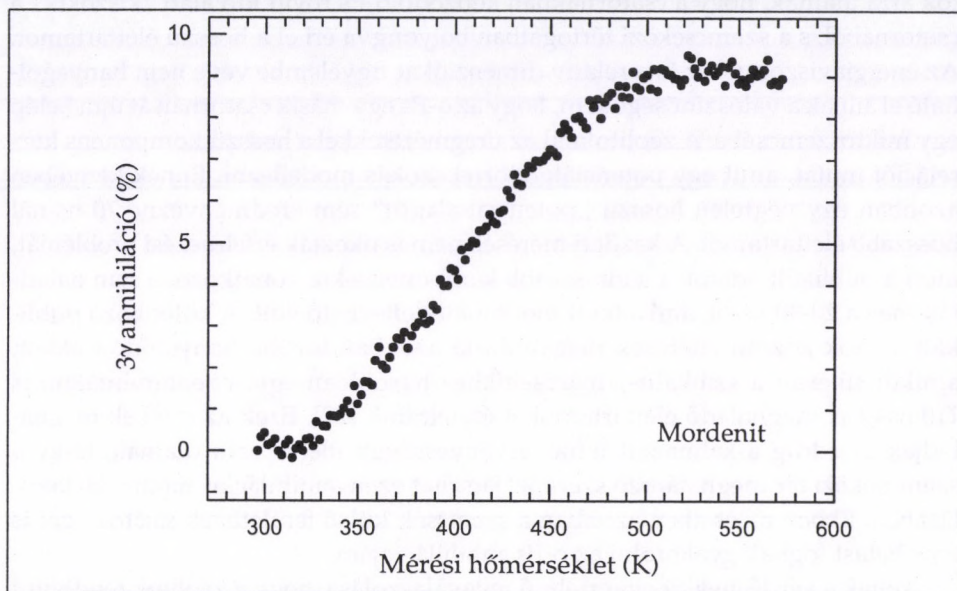
Ennek megfelelően az eredmények kiértékelése korántsem triviális feladat. Ez a *LT spektrumok* esetében még azáltal is nehezedik, hogy az itt vizsgált mintáknál igen nagy az idődinamika ($\tau_1 \sim 0,1$ ns, $\tau_4 \sim 135$ ns), s az energiakupukat is korrigálni kell a 3γ -szétsugárzás jelentős járuléka miatt [21–23].

A különböző mintákon végzett mérések eredményei – a konkrét paraméterértékeket tekintve – jelentős eltéréseket mutattak, a következő általános vonásokkal:

- az élettartam-spektrumok legalább négy élettartam-komponenst mutattak;
- I. p-Ps és tömbi annihiláció keveredve
- II. hibahelyen befogódott e^+
- III. üregekben befogódott e^+

IV. lényegesen hosszabb élettartamokat mutató o-Ps, mely az üregekben és csatornáknban képződik, és a környezettel való kölcsönhatás következtében esetleg néhány ns után már elbomlik.

A szintetikus szilikalit-1 mintában (amit 96 db SiO_2 -ből álló cellákkal rendelkező, kristályos szerkezetű, $30 \times 30 \times 60$ μm méretű mikroszemcsék alkotnak) 125–135 ns hosszú élettartamokat észleltünk mintegy 35% relatív intenzitással. Természetesen az FED és DE spektrumok is jelentős 3γ -járulékot mutattak. Ez arra utal, hogy az itt keletkező o-Ps csak igen gyengén lép kölcsönhatásba a környezettel, nagy a szabad úthossza, lényegében a vákuum-feltételeknek megfelelően bomlik. Ennek bizonyítására LT-méréseket végeztünk külső mágneses térben, s a hosszú élettartamú komponens intenzitásának az $m=0$ mágneses alállapotok keveredésének megfelelő csökkenését sikerült kimutatnunk [24]. Az FED és DE



4. ábra. A hosszú élettartamú, 3γ -bomló ortopozitronium arányának változása a minta (mordenit) kifűtésének függvényében.

spektrumok szintén a 3γ -járulék csökkenését s a 2γ -járulék növekedését mutatják növekvő mágneses térrel, lehetőséget adva a 3γ -járulék spektrális feltérképezésére is. Ezért várható, hogy ezen o-Ps komponensek nagyfokú érzékenységet mutatnak nemcsak a felületközei szerkezeti hibákra, hanem a felületi mágnesesre is.

Saját LT-méréseink nemcsak a mikrokristályos porokra, hanem a zeolitminták legnagyobb részére is az irodalmi adatoknál lényegesen hosszabb élettartamokat (15–110 ns) és nagyobb intenzitásokat (15–30%) eredményeztek. Ez annak köszönhető, hogy az effektív kifűtéssel sikerült megszabadulnunk az abszorbeált víztől és gázoktól, továbbá a vizsgált minták kristályszerkezetének minősége jó volt, így a „kisméretű” hibahelyek (melyek esetleg rövidebb élettartamokat eredményeznének) aránya nem volt számottevő. A kifűtés függvényében az o-Ps arányt vizsgálva a víztartalom csökkenésével az o-Ps-képződés jelentős növekedését észleltük (4. ábra).

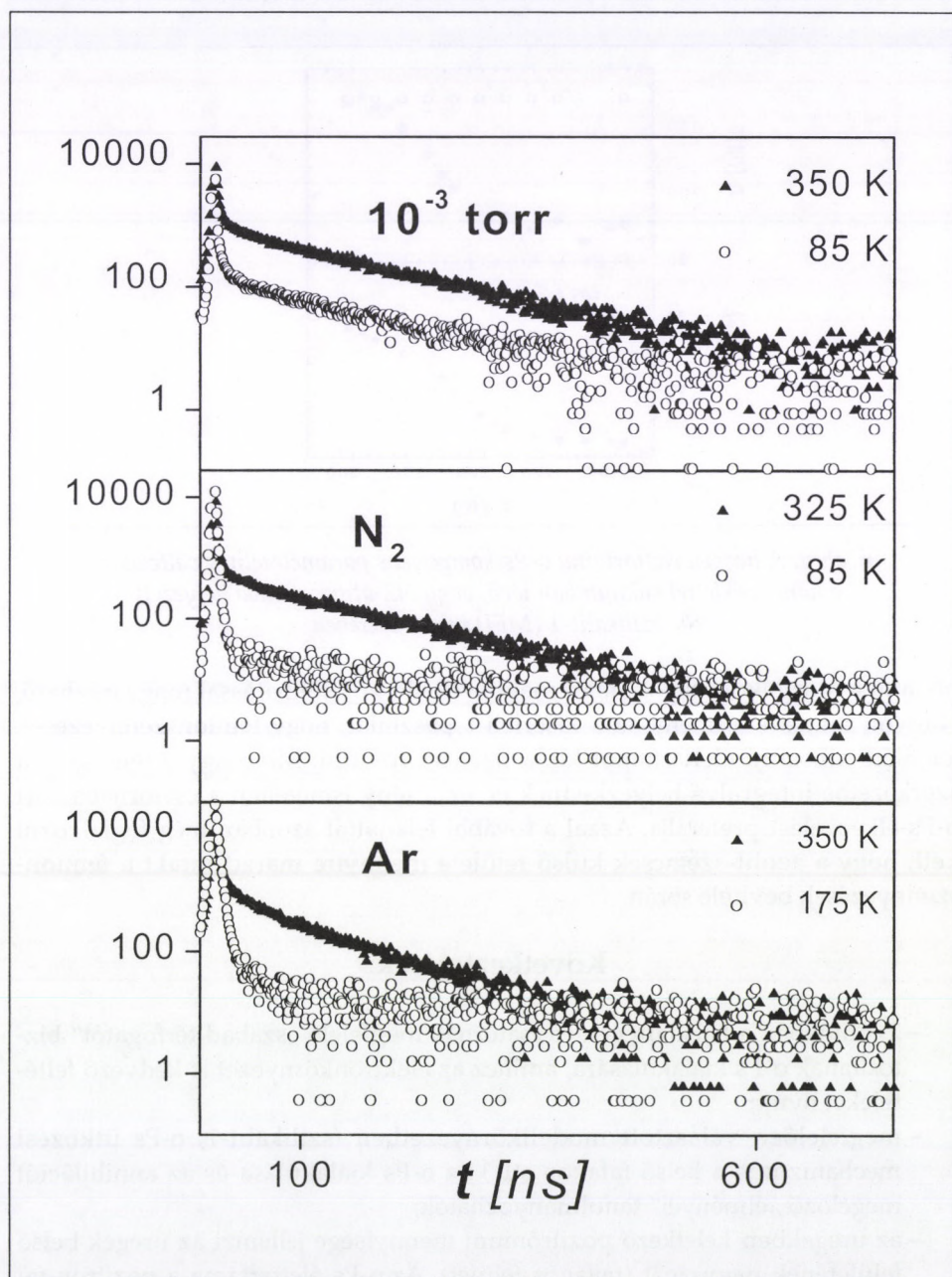
A zeolitokban található üregek és csatornák bonyolult feltételeket hoznak létre az o-Ps számára, míg a többi mikrokristályos mintánál csak a nagy fajlagos szemcsefelület játszik szerepet. A mikrokristályos szemcséknél az o-Ps létrejötte és annihilációja a szemcsék közötti üregekben zajlik le, itt ugyanis a szerkezet alapvetően nem tartalmaz üregeket. Egyes zeolitmintáknál ezzel szemben az ada-

tok arra utalnak, hogy a csatornában képződő o-Ps rövid idő alatt „kiszökik” a csatornából, s a szemcseközi térfogatban bolyongva éri el a hosszú élettartamot. Az energiaviszonyokat és a relatív dimenziókat figyelembe véve nem hanyagolható el annak a valószínűsége sem, hogy az o-Ps egy másik csatornán át újra belép egy mikroszemcsébe. A zeolitoknál az üregméretekkel a hosszú komponens korrelációt mutat, amit egy potenciálgödörrel szokás modellezni. Ennek keretében azonban egy végtelen hosszú „potenciál-alagút” sem eredményezne 70 ns-nál hosszabb élettartamot. A kezdeti mérések nem is okoztak értelmezési problémát, mert a publikált adatok a leghosszabb komponensekre vonatkozóan sem haladták meg a 20-30 ns-ot, ami a fenti módon modellezhető volt. A különböző publikált adatok közötti eltérések magyarázata azonban tovább bonyolódott akkor, amikor sikerült a szilikalit-1 méréseinkhez hasonlóan egyes zeolitmintákon is 110 ns-ot is meghaladó élettartamokat észlelnünk [27]. Ezek az értékek meghaladják az eddig alkalmazott leírás érvényességét, illetve arra utalnak, hogy a szemcseközi tér meghatározó szerepet játszhat ezen annihilációs módus kialakulásában. Ebben az esetben azonban a szemcsék külső felületének sajátosságai is erős hatást fognak gyakorolni az o-Ps annihilációjára.

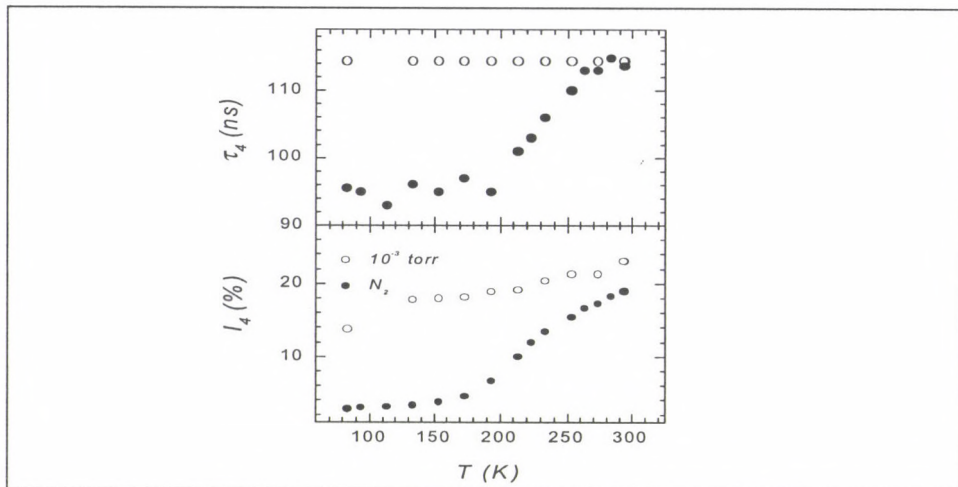
Annak a kérdésnek az egyértelmű megválaszolása, hogy a zeolitok rendkívül jelentős belső felületéhez képest csak mintegy ezreléknyi külső szemcsefelület milyen súllyal játszik szerepet a nagyon hosszú élettartamok kialakulásában, illetve rövidülésében, eddigi mérési eredményeink (s az irodalmi adatok) alapján még nem lehetséges. A 1,3,5-trimetil-benzol és benzol alkalmazásával a szilikalit-1 mintánál az eredmények azt indikálják, hogy a hosszú komponens – ha valamilyen rövidüléssel is – a kívülről bezárt csatornában fennmarad, eltűnik viszont akkor, ha a folyadék kitölti a csatornát [26, 27]. A gázatmoszférában végzett mérések eredménye hasonlóképpen értelmezhető: az o-Ps-járulék csökkenő hőmérsékleten látványosan csökken (*LT-spektrumok és a Ps-hányad az FED-spektrumokban*, 5–6. ábra.), ami a gázok – messze a forráspont felett bekövetkező – kapilláris kondenzációjával magyarázható. A szilikalit-1 igen keskeny csatornái (0,6 nm) „betömődnek”, az o-Ps erősen lokalizálódik, élettartama nagyon lerövidül. (Ez a folyamat alacsony hőmérsékleten a „vákuum”-ban lévő maradékgázokkal is beindul.) A kapilláris kondenzáció lejátszódása függ a gázatomok vagy -molekulák méretétől és a nyomástól.

A két elképzelés – csatornába zárt, illetve a szemecseközi térfogatban bolyongó o-Ps – között egyértelmű döntést a mérési eredmények még nem tesznek lehetővé. Lehetséges, hogy egymáshoz energetikailag nagyon közel álló állapotokról van szó, s állandó versengésben egy egyensúly alakul ki közöttük.

FED- és DE-méréseink rámutattak a Ps-képződés és -annihiláció hőmérsékletfüggő sajátosságaira is: magasabb hőmérsékleten az o-Ps-járulék (*az 511 keV alatti energiatartományban*) csökken, a p-Ps-járulék (*az éles 511keV energiájú komponens*)



5. ábra. Az élettartam-spektrumok változása a hőmérséklettel vákuumban, N_2 - vagy Ar -gázban lévő szilikalit-1 (MFI) minta esetében



6. ábra. A hosszú élettartamú o-Ps-komponens paramétereinek változása a hőmérséklettel vákuumban lévő, vagy N_2 -atmoszférába helyezett szilikalit-1 (MFI) minta esetében

nő, ami a mozgékonyságok miatt megnövekedő kölcsönhatással magyarázható. Nagyon fontos eredmény az a kísérleti tapasztalat, hogy fémionszennyezések jelenléte a hosszú élettartamot kb. a tizedére rövidíti. Minthogy a fémionok a szerkezetbe integrálva helyezkednek el, ez a tény ismételten a csatornába zárt o-Ps-elképzelést preferálja. Azzal a további feladattal azonban még foglalkozni kell, hogy a zeolit-szemcsék külső felülete mennyire marad intakt a fémionszennyezések bevitelére során.

Következtetések:

- Zeolitokban a belső üregek és csatornák megfelelő „szabad térfogatot” biztosítanak o-Ps kialakulására, amihez az elektronkörnyezet is kedvező feltételeket nyújt;
- megfelelően választott modellkörnyezetben (szilikalit-1, o-Ps ütközési mechanizmus a belső falakon stb.) az o-Ps kialakulása és az annihilációt megelőző „élményei” tanulmányozhatók;
- az üregekben keletkező pozitronium mennyisége jellemzi az üregek belső felületének nagyságát (fajlagos felület). Az o-Ps élettartama a pozitron-fal kölcsönhatástól függ, ezáltal az üregek falán adszorbeált atomok hatása is kimutatható;

- a nagyfokú felületi aktivitás miatt a zeolitokban megkötődő gáznemű szennyezők igen erős mértékben befolyásolják a PAS eredményeit, megismerésük viszont fontos kutatási témát jelent;
- a zeolitokba beépített fémionok jelentős mértékben lerövidítik az o-Ps élettartamát, s így távlatilag lehetőséget teremtenek pl. a fémionok megkötődési mechanizmusának megismerésére is (alkalmazási lehetőségek pl. radioaktív ionok esetében).

További célkitűzések, a felhasználási kör bővülése

- A mikroszemcsés kristályos nemfémes minták felületének és hibaszerkezetének vizsgálatában a PAS érzékeny vizsgálati módszer, elsősorban a felülethez és a kiterjedt szerkezeti hibákhoz kötődő, hosszú élettartamú pozitron- és pozitronium-állapotok észlelhetősége révén nyitva áll a kiterjesztés lehetősége a nanokristályok irányába;
- a PAS mérőmódszereinek érzékenysége a mikro- és nanostrukturák vizsgálatára (alapvetően egyszerű eszközökkel) még fokozható;
- mivel a zeolitokkal folytatott kísérletek során bizonyos értelemben felületi effektusok vizsgálata történik, a lassú pozitronos tapasztalatok egyrészt közvetlenül hasznosíthatók lehetnek, másrészt egyes modellrendszerek lassú pozitronok segítségével történő vizsgálata segítséget adhat a valódi zeolit-szerkezetben lejátszódó folyamatok megértéséhez is.

A porózus anyagoknak – a rutinszerűen alkalmazott katalitikus tulajdonságaik mellett – különös jelentőséget adhat az, hogy szerepük lehet a radioaktív hulladékok biztonságos, hosszú távú, vagy végleges elhelyezésének megoldásában is. Ez utóbbi feladat a nukleárisenergia-termelésre is utalt társadalmak szempontjából alapvető probléma. A mikropórusos anyagok, így pl. a zeolitok, igen alkalmas szilárd mátrixoknak tűnnek nehéz ionok, hosszú felezési idejű hasadási termékek és nukleáris hulladékok oldatokból történő kivonására, elszigetelésére és hosszú távú tárolására, ezért a zeolit nanocsatornáinak felületén megkötődött ionok viselkedésének vizsgálata nagy figyelmet érdemel. Távlatilag tanulmányozni kell az ilyen rendszerek hosszú távú stabilitását, a zeolitok mikroszerkezetének ionizáló sugárzással szembeni ellenálló képességét, a tárolt radioaktív magok esetleges vándorlását megakadályozó technológiai lépéseket (pl. üvegesítés) is. Ezen kérdések a PAS és a nukleáris analitikai módszerek alkalmazásával vizsgálhatók.

Az itt ismertetett kutatás az elmúlt néhány évben több OTKA-téma (T016294, T016506, T021131, T029215, F016293, W15722, W15585) tematikai és metodikai támogatásával és egy AKP-pályázat (98-116 2,2/21) keretében intézetünkben Varga László és Lohonyai László, az IKI-ből Lázár Károly, a KKKI-ból Beyer Her-

mann és Pál-Borbély Gabriella részvételével folyt. Az eredményekhez fontos hozzájárulást jelentett MTA-CNRS együttműködésünk (G. Duplatre, Isabelle Billard – Strasbourg, J. Patarin, P. Caillet – Mulhouse) is.

Irodalomjegyzék:

- [1] P. A. M. Dirac, *Proc. Roy. Soc.*, 117, 610 (1928)
- [2] C. D. Anderson, *Phys. Rev.* 43, 491 (1933)
- [3] S. De Benedetti, C. G. Montgomery, *Phys. Rev.* 61, 222 (1942)
- [4] P. Hautojärvi, (ed.): *Positrons in Solids*, Topics in Current Physics, vol. 12, Springer, Berlin, 1979
- [5] W. Brandt, A. Dupasquier, (eds.): *Positron Solid State Physics*, Proc. Int. School of Physics „Enrico Fermi” North-Holland Publ. Co., Amsterdam, 1983
- [6] W. Triftshäuser, in: *Topics in Current Physics*, Springer 1986 (ed. U. Gonser). p.249.
- [7] R. Paulin, G. Ambrosino; C. R. Acad. Sc. Paris, 263, 207 (1966)
- [8] J. B. Nagy, P. Bodart, I. Hannus, I. Kiricsi: *Synthesis, characterisation and use of zeolitic microporous materials* DecaGen Ltd., 1998, Szeged
- [9] M. Debowska, J. Ch. Abbe, G. Duplatre, *Phys. stat. sol. (b)* 146, 91 (1988)
- [10] Y. Ito, M. Hirose, T. Tabata, M. Hasegawa, *Appl. Phys.* A50, 39 (1990)
- [11] M. Hasegawa, Y. Tsuchiya, Y. Kitayama, T. Chiba, M. Saitoh, S. Yamaguchi, *Materials Science Forum* 105-110, 257 (1992)
- [12] Tron L. MTA Közgylési előadások, 1998 Akadémiai Kiadó, II. kötet, 370 old.
- [13] L. Liskay, C. Corbel, L. Baroux, P. Hautojärvi, M. Bayhan, A. W. Brinkman, S. Tatarenko, *Appl. Phys. Lett.* 64 (1994) 1380
- [14] Zs. Kajcsos, Cs. Szeles (eds.): *Positron Annihilation*, *Mat. Sci. Forum*, 105-110 (1992)
- [15] Y. C. Jean, M. Eldrup, D. M. Schrader, R. N. West (eds.): *Positron Annihilation*, *Mat. Sci. Forum*, 255-257 (1997)
- [16] O. E. Mogensen, *Positron Annihilation in Chemistry*, Springer, Berlin-Heidelberg, 1995
- [17] Zs. Kajcsos, B. Lévy, K. Süvegh (eds.): Proc. 5th Int. Workshop on Pos. Positronium Chemistry *J. Anal. and Nucl. Chemistry*, Vol. 210-211, (1996)
- [18] L. Liskay, K. Havancsák, Zs. Kajcsos: Slow and fast positron studies of defects created in silicon by swift Kr ions *Appl. Surf. Sci.*, 149(1999)181-187
- [19] L. Liskay, H. Huomo, K. Rönkä, K. Rytsölä, P. Hautojärvi: Compact, magnetically guided slow positron beam for defect studies, *Mater. Sci. Forum* 105-110 (1992) 1931
- [20] J. L. Guth, H. Kessler, R. Wey, in: *Proc. 7th Int. Zeol. Conf.*, Tokyo, (eds. Y. Murakami et al.), Kodansha-Elsevier, Tokyo-Amsterdam, 1986, p. 121.
- [21] Zs. Kajcsos, L. Varga, L. Liskay, K. Lázár, G. Brauer and C. Dauwe: On the mixing of 2γ and 3γ events in the data collection of the positron annihilation experiments: microcrystalline materials and zeolites, *Mat. Sci. Forum*, 175-178 (1995) 959
- [22] Zs. Kajcsos, L. Liskay, L. Varga, K. Lázár and L. Lohonyai: Long-living positron and positronium states in zeolites and microcrystalline oxides *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 190 (1995) 475.
- [23] L. Varga, L. Liskay, Zs. Kajcsos, K. Lázár, H. K. Beyer, G. Onyestyák, E. Kótai, L. Lohonyai: Preliminary results of the positron annihilation in zeolites: peak shape and 3γ -decay, *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 211 (1996) 237.
- [24] G. Duplâtre, Zs. Kajcsos, T. Goworek, L. Varga, L. Liskay, I. Billard, K. Lázár: Magnetic quenching effects on long-lived positronium states in zeosil, *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 211 (1996) 225.
- [25] Zs. Kajcsos, G. Duplatre, L. Varga, I. Billard, L. Liskay, L. Lohonyai, P. Caullet, J. Patarin, K. Lázár: Further results on long-lived positronium states in zeosil, *Mater. Sci. Forum* 255-257, 405 (1997)
- [26] G. Duplâtre, Zs. Kajcsos, I. Billard, L. Liskay, K. Lázár, L. Lohonyai, H.K. Beyer, P. Caullet, J. Patarin: Free volumes in zeolites as seen by positrons in: *Porous Materials in Environmentally Friendly*

Kajcsos Zsolt, Liskay László: Felületközei, hosszú élettartamú pozitronium-állapotok...

Processes Studies in Surface Science and Catalysis, Vol. 125, p. 277-284, Elsevier Science B.V. (eds. I. Kiricsi, G. Pál-Borbély, J. B. Nagy, H. G. Karge)

- [27] Zs. Kajcsos, G. Duplâtre, L. Liskay, I. Billard, A. Bonnenfant, E. Azenha, K. Lázár, G. Pál-Borbély, P. Caullet, J. Patarin, L. Lohonyai: On the peculiarities of positron annihilation features in szilikalit-1 and Y-zeolites Megjelenés alatt, *Rad. Phys. Chem.*, (2000), Elsevier B.V. (eds. Y. Ito, Y. Kobayashi)

BÍRÓ LÁSZLÓ PÉTER, MÁRK GÉZA,
SZABÓ BÁLINT, GYULAI JÓZSEF

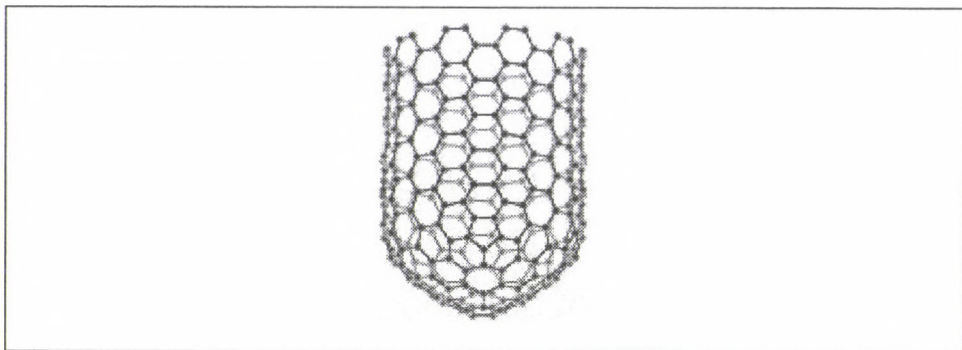
Nanocsövek, szilárdtestek, nagy energiájú ionok. (A szilícium utóda?)

A szén nanocsövek a fullerének családjába tartozó nano-objektumok. HRTEM-mérések alapján Iijima mutatott ki először szén nanocsöveket fullerén előállítását célzó ívfénykísérletekből származó anyagban [1].

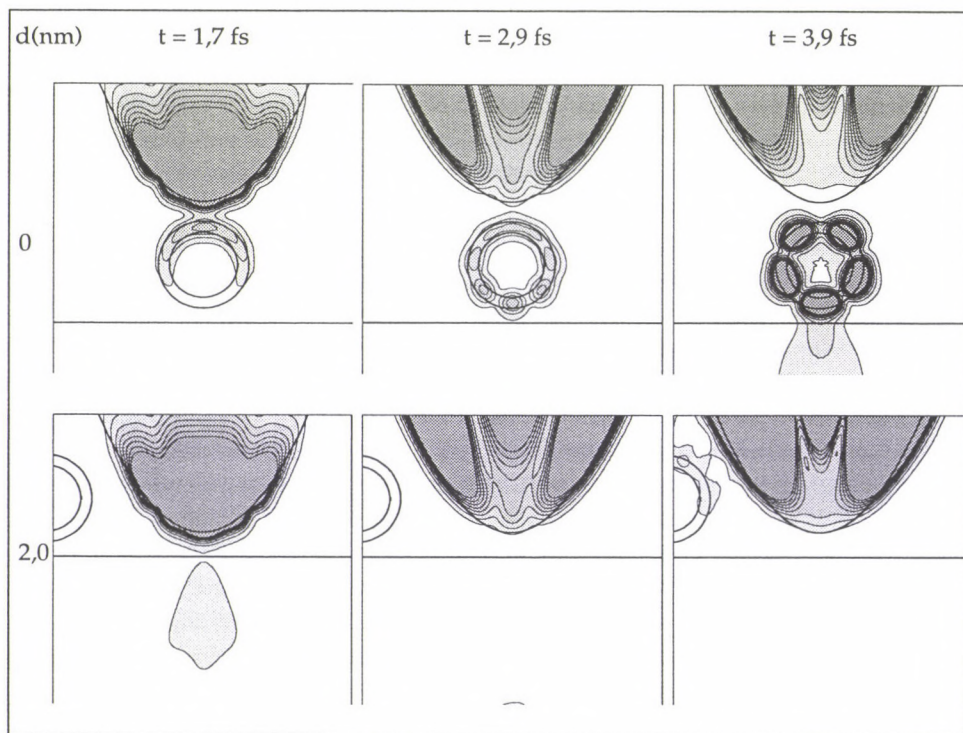
Az egyfalú szén nanocső szerkezete olyan, amilyent egyetlen atomi réteg vastag, grafitszerűen elrendezett szénatomokból álló sík hengerré tekerése nyomán nyernénk. A nanocső vége lehet nyitott, vagy lezárhatja egy fullerénszerű félgömb (1. ábra). Az egyfalú nanocsövek jellemző átmérője az 1 nm tartományban van, a többfalú nanocsövek átmérője – ezek koncentrikusan egymás köré épült hengeres rétegekből állnak – elérheti a 100 nm-t is. Az egyfalú szén nanocső elektronszerkezetét az határozza meg, hogyan tekeredik hengerré az egyetlen atomiréteg-vastagságú grafitsík. Félvezető-viselkedésű nanocsőről beszélünk, ha a Fermi-energiának nulla állapotossűrűség felel meg, és fémes viselkedésű nanocsőről akkor, ha a Fermi-energián nullától különböző állapotossűrűséget találunk. A fémes/félvezető nanocsövek egy ötszög-hétszög hibapáros beépülésével egymásba nőhetnek – ez a cső bizonyos szögű elhajlásával jár együtt –, ily módon nanométeres méretű, nemlineáris áramköri elemeket képezhetnek.

A pásztázó alagútmikroszkóp (STM) és az atomerő-mikroszkóp (AFM) kiválóan alkalmas egyedi szén nanocsövek tulajdonságainak vizsgálatára, a topográfiai jellemzőkön túl adatokat szolgáltathatnak a szén nanocsövek elektronszerkezeti, elektromos és mechanikai tulajdonságairól is.

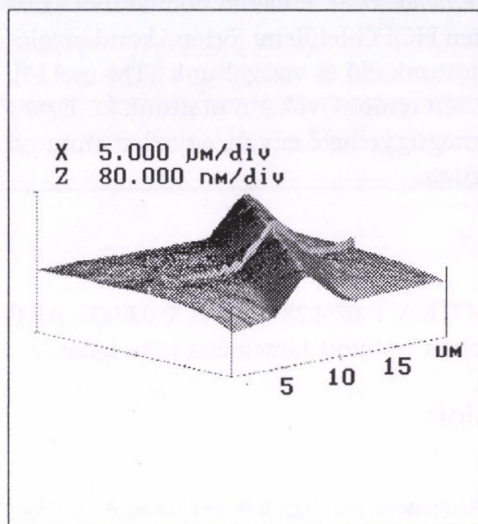
STM- és AFM-méréseket alkalmaztunk katalitikus úton előállított [2], grafit nagy energiájú ionokkal ($E > 100$ MeV) történt besugárzása útján előállított [3], valamint fullerénbomlás nyomán keletkezett [4] szén nanocsövek vizsgálatára. A szén nanocső nem képezi részét a nanocsövet hordozó felületnek, ezért a nanocsövön történő alagutazás folyamataiban meghatározó szerepet játszik a második alagútköz léte, amely a nanocső és a hordozó között alakul ki. Számítógépes modellt dolgoztunk ki az alagutazási folyamatok szimulálására [5].



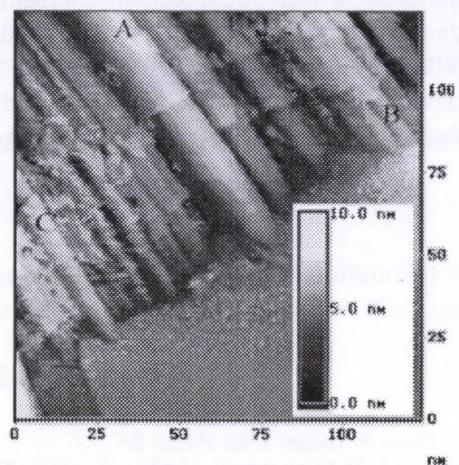
1. ábra



2. ábra. Hordozott szén nanocsővön történő alagutazás számítógépes szimulációjának eredménye [5]. Az ábrák a megtalálási valószínűségnek az egyes ábrák maximumára normált értékét ábrázolják. A d értékek a nanocső tengelye és az STM tű tengelye közötti eltolást mérik (függőleges); a t értékek pedig a hullámcsomag indításától eltelt időt jelölik (vízszintes).



3. ábra



4. ábra

Katalitikus úton előállított szén nanocsövek. Elsőként mutattuk ki [2], hogy az acetilén átmeneti fémkatalizátoron történő bomlásakor keletkező szén nanocsövek képződése során nemcsak többfalú nanocsövek nőnek, hanem „tutajyszerű” együttesekben egyfalú szén nanocsövek is keletkeznek. Ezek jellemző átmérője az 1 nm tartományban van. Elsőként képeztünk le STM segítségével „dugóhúzó-szerűen felcsavart” szén nanocsövet. Tekintettel arra, hogy a szén nanocső nem része a nanocsövet hordozó felületnek, hanem a nanocső „lebeg” a Van der Waals-potenciálon, az alagutazási folyamat elemzésekor nem hanyagolhatók el a két alagútköz létéből, valamint a nanocső és hordozója eltérő elektronszerkezetéből fakadó hatások. Az időfüggő Schrödinger-egyenlet numerikus megoldásán alapuló számítógépes szimuláció segítségével vizsgáltuk az alagutazást az STM tű/szén nanocső/hordozó rendszerben [5], amint az a 2. ábrán is látható, a szén nanocső jelentősen megváltoztatja az alagutazás lefolyását, amit a $d = 0$ és a $d = 2$ nm estek összevetése jól mutatnak.

Nagyenergiájú ionokkal végzett besugárzás során keletkezett szén nanocsövek. Nagyenergiájú ionokkal besugárzott, majdnem egykristályos grafit (HOPG) felületén keletkezett szén nanocsöveket vizsgáltunk AFM segítségével [3]. Kimutattuk, hogy a nehéz ionok esetében, mint Kr és Xe, a minta felületére kijutó magasabb rendű kaszkádok miatt kialakuló porlódási kráterekből rendszerint egy vagy több nanocső indul ki. Gyakori jelenség a domborzat egyenetlenségein áthaladó nanocsövek rezgése a pásztázás hatására (3. ábra).

Fullerén bomlása nyomán keletkezett szén nanocsövek. Fullerén bomlásából származó tiszta szén sugár szobahőmérsékleten HOPG-felületre történő kondenzálódása segítségével szén nanocsöveket állítottunk elő és vizsgáltunk STM-mel [4]. Jellemzően 5–20 nm átmérőjű, többfalú szén nanocsöveket mutattunk ki. Egyes csöveken – 4. ábra, A-val jelzett cső – jól megfigyelhető egy új, egyetlen atomnyi vastagságú szénréteg növekedésének kezdete.

*

A bemutatott eredmények létrejöttét az OTKA T 025928, OTKA T 030435 AKP 96/2-637, valamint AKP 96/2-462 keretében nyújtott támogatás tette lehetővé.

Irodalom

1. Iijima, S.: *Nature*, 1991, 354, 56–58.
2. Biró, L. P., Lazarescu, S., Lambin, Ph., Thiry, P. A., Fonseca, A., Nagy, J. B. and Lucas, A. A.: *Phys. Rev. B*, 56, 1997, 12490.
3. Biró, L. P. et al.: *E-MRS'98 Spring Meeting, Carbon Based Materials for Microelectronics, June 16–19, 1998 Strasbourg, France Carbon 37*, 1999, 739.
4. Biró, L. P., Ehlich, R., Tellgmann, R., Gromov, A., Krawez, N., Tschaplyguine, M., Pohl, M.-M., Zsoldos, E., Vértessy, Z., Horváth, Zs. and Campbell, E. E. B.: kiadás alatt, *Chem. Phys. Lett.*
5. Márk, G. I., Biró, L. P., Gyulai, J.: *12th IWEPNM: Molecular Nanostructures, February 28–March 7, 1998, Kirchberg, Austria; Phys. Rev.* 1998, B 58 12 645.

A reverse Monte Carlo-módszer szilárdtest-fizikai alkalmazásai

Bevezetés

A probléma: a mikroszkopikus (atomi-molekuláris szintű) szerkezet meghatározása – elsősorban *transzlációs szimmetria nélküli rendszerekben*. (Amorf szilárd anyagok, folyadékok.) (Általános összefoglaló munkaként lásd például [1-3]).

Kísérleti eszköz: diffrakció, röntgen (lásd például [4]) vagy neutron (lásd például [5]) (igen ritkán elektron, lásd például [6]).

Kísérleti eredmény: szerkezeti függvény („structure factor”), $F(Q)$; ebből Fourier-transzformációval nyerhető a párkorrelációs függvény, $g(r)$, amely a részecskék valós térbeli eloszlásáról a diffrakciós kísérlet által (csaknem) közvetlenül nyújtott legrészletesebb információ (részletesebben lásd például [3]).

Nehézségek:

- kiértékelés (normálás, korrekciók);
- interpretáció (1 dimenziós információ – mit lehet vele egyáltalán kezdeni?).

Számos (a legtöbb) esetben mind a mai napig nem nyilvánvaló e problémák feloldása (melyek a konkrét rendszertől függően, kisebb-nagyobb mértékben mindig jelen vannak).

Megoldás (vagy legalábbis segítség): 3D szerkezeti modellek konstruálása, amelyek a kísérleti hibán belül konzisztensek a mért a szerkezeti függvénnyel. Ennek eszköze a fordított (Reverse) Monte Carlo (RMC) számítógépes szimuláció.

Az RMC algoritmus [7]

1. N db pont (atom) egy szimulációs dobozban.
2. $g(r)$ (párcorrelációs függvény) kiszámítása.
3. Fourier-transzformáció – $F^C(Q)$.
4. Mekkora a távolság a mért $F^E(Q)$ -tól?
 $\chi_0^2 = [F^C(Q) - F^E(Q)]^2$
5. Egyetlen részecske véletlen elmozdítása.
6. $g_n(r)$ és $F_n^C(Q)$ kiszámítása az új helyzetre.

7. χ_n^2 kiszámítása.
8. χ_n^2 és χ_0^2 összehasonlítása: ha az új érték kisebb, mint a régi \rightarrow azonnali elfogadás; ellenkező esetben elfogadás csak bizonyos valószínűséggel.
9. Ismétlés az 5. ponttól, amíg χ_n^2 nem lesz minimális (kísérleti hibán belüli).

Az RMC-technika előnyei

- Kvantitatíve kihasználja a diffrakciós adatok alapján nyújtott teljes információt.
- Kölcsönhatási potenciált nem igényel (bár alkalmazásukat megengedi).
- Az RMC-vel számolt parciális $g(r)$ -ek mindig önkonzisztensek, valamint közvetlenül kapcsolódnak fizikailag is létező részecskeelosztásokhoz.
- Különböző (típusú) kísérleti adatok (ND, XRD, EXAFS,...) együttesen is kiértékelhetők.
- Más (például NMR) kísérletekből származó információ/leképezés a modellbe beépíthető és ellenőrizhető.
- A parciális $g(r)$ -ek szeparációja olyankor is elvégezhető, amikor a hagyományos (mátrixinverzió és direkt Fourier-transzformáció) nem működik.
- *Modell és kísérlet egyezéséből a kísérleti adatok minőségére (a szisztematikus hibák nagyságára) is következtethetünk.*

Az RMC alkalmazási területei

- egyszerű folyadékok: nemesgázok folyadékállapota, folyékony fémek [8];
- sóolvadékok [9];
- fémötvözet-olvadékok (például K-Pb) [10];
- fémüvegek [11];
- kovalens üvegek (pl. amorf Si) [12];
- diffúz szórás modellezése kristályokban [13];
- plasztikus kristályok [14];
- (rendezetlen) mágneses szerkezet modellezése [15];
- ...és minden olyan probléma, ahol egy (vagy több) mért mennyiség a koordinátákból egyértelműen számolható!

Fő kutatási területünk jelenleg: molekuláris folyadékok

Miért vizsgáljuk őket?

1. Mert a sok vizsgálat ellenére keveset tudunk szerkezetükről (és azt sem mindig jól, lásd CCl_4 , amelynek közel 30 éven át magyarázták félre a szerkezetét *alapvetően* [16]).

2. Mert fontosak, lásd biológiai szempontból érdekes rendszerek = vizes oldatok. A fontos rendszerek bonyolultak (mint mindig); megértésükhöz csakis az egyszerűbbek aprólékos megértésén át vezet út.

N₂ (enyhén ovális gömb alakú); CS₂ („kapszula”); XCl₄ (szabályos tetraéder); CCl₃ (torzított tetraéder); C₂Cl₄ (planáris); ...D₂O; ...vizes oldatok (?? – nem biztos, hogy az idáig vezető utat sikerül bejárni) – jelenleg ebben a sorrendben vizsgáljuk őket *neutrondiffrakcióval*, illetve az adatok RMC-modellezésével (munkatársaim: Sváb Erzsébet, Mészáros György, Jóvári Pál, az MTA SZFKI kutatói.)

Irodalom

1. Elliot, S. R.: *Physics of Amorphous Materials* (2. kiad.). Longman, Harlow (UK), 1990.
2. Hansen, J. P., McDonald, I. R.: *Theory of Simple Liquids* (2. kiad.). Academic Press, New York, 1986.
3. Baranyai A., Pusztai L.: *Rendezetlenség kondenzált fázisokban* („A kémia újabb eredményei” sorozat, szerk.: Csákvári Béla). Akadémiai Kiadó, Budapest, 1995.
4. Warren, B. E.: *X-Ray Diffraction*. Addison Wesley, New York, 1969.
5. Bacon, G.: *Thermal Neutron Diffraction*. Cambridge University Press, 1977.
6. Malley, B. O., Snook, I., McCulloch, D.: *Phys. rev. B*, 1998, 57, 14148.
7. McGreevy, R. L., Pusztai, L.: *Molec. Simul.*, 1988, 1, 359.
8. Howe, M. A., McGreevy, R. L., Pusztai, L., Borzsák, I.: *Phys. Chem. Liq.*, 1993, 25, 205.
9. McGreevy, R. L., Pusztai, L.: *Proc. Roy. Soc. London*, 1990, A430, 241.
10. Howe, M. A., McGreevy, R. L.: *J. Phys.: Condans. Mater*, 1991, 3, 557.
11. Pusztai, L.: *Naturforsch*, 1991, 46a, 69.; Pusztai, L., Sváb, E.: *J. Phys.: Condens. Matter*, 1993, 5, 8815.; Pusztai, L., Sváb, E.: *J.: Non-Cryst. Sol.* 1993, 156–158, 973.
12. Gereben, O., Pusztai, L.: *Phys. Rev. B.*, 1994, 50, 14136.; Gereben, O., Pusztai, L., Baranyai, A.: *Phys. Rev. B.*, 1994, 49, 13251.
13. Niedl, V. M., McGreevy, R. L., Keen, D. A., Hayes, W.: *Physica B.*, 1994, 202, 159.
14. Pusztai, L., McGreevy, R. L.: előkészületben.
15. Keen, D. A., Bewley, R. I., Cywinsky, R., McGreevy, R. L.: *Phys. Rev. B.*, 1996, 54, 1036.
16. Pusztai, L., McGreevy, R. L.: *Mol. Phys.*, 1997, 90, 553.

TÉL TAMÁS

Reakciók kaotikus áramlásokban

Bevezetés

A kémiai reakciók vagy a populációdinamika hagyományos elmélete azon a feltevésen alapul, hogy a közeg jól kevert. Ezért beszélhetünk koncentrációkról, s ezeket használva jutunk el a reakciókinetika vagy a populációdinamika leírásához közönséges differenciálegyenletek formájában. Nagyon gyakran azonban a kémiai vagy biológiai reakciók áramló közegben zajlanak le. Gondoljunk például a magas légköri ózonlebomlásra vagy a planktonok életfolyamataira az áramló óceánban vagy tavakban. Az ilyen, közel kétdimenziós áramlások meglepően hosszú időskálán is csak *részleges keveredést* biztosítanak. Bennük a diffúzió szerepe elhanyagolható. Célunk annak megmutatása, hogy ilyen körülmények között a reakciók újszerű tulajdonsággal rendelkeznek, s a termékek nagy része egy szálas, fraktál szerkezet mentén keletkezik. Ezt az időben lassan változó szerkezetet (az úgynevezett taszító sokaságot) a passzív sodródás dinamikája hozza létre, mely tipikusan kaotikus. Az áramlásból adódó sodródási keveredés hosszú időskálán is sokkal lényegesebb szerepet játszik, mint a hagyományos diffúzióval kapcsolatos, ami csak nagyon kis távolságskálán lenne megfigyelhető. Összességében tehát azt vizsgáljuk, hogy milyenek a reakciók, ha időben változó görbék, tehát egyfajta dinamikai fraktál katalizátorok mentén zajlanak le. Ehhez először a passzív sodródás tulajdonságait kell felderítenünk. A keveredési tulajdonságok és a velük kapcsolatos fraktálmintázatok az ELTÉ-n nemrég létrehozott KÁRMÁN Környezeti Áramlások Laboratóriumában kísérletileg is vizsgálhatók.

Sodródás

Egy áramlást akkor ismerünk, ha meg tudjuk adni minden t pillanatban és \mathbf{r} helyen az ottani folyadékrészecske $\mathbf{v}(\mathbf{r}, t)$ sebességét. Mivel a $\mathbf{v}(\mathbf{r}, t)$ sebességeloszlás sokváltozós függvény, szemléletes megjelenítésére különféle módszerek használatosak. Az egyik gyakori jellemzési forma az *áramvonalak* megadása. Ezek azok a görbék, melyek érintője minden pontban a folyadékrészecskék pillanatnyi sebessége irányába mutat, sűrűségük pedig a sebesség nagyságával arányos.

Az áramlás másfajta jellemzői az úgynevezett *pályavonalak*. Egy pályavonal az a görbe, melyen egyetlen kiszemelt folyadékrészecske halad végig. Ennek ismeretéhez nem elég egy pillanatsfelvétel, hanem hosszú ideig kell követnünk, például videokamerával, a részecskét. Ennél kísérletileg egyszerűbb egy festékcsepp sorsát követni vagy azt vizsgálni, milyen rajzolatot ad a folyadékba egy adott ponton folyamatosan bejuttatott festék. Az áram- és pályavonalak tehát különböző objektumok. Egyetlen esetben esnek egybe, amikor az áramlás időtől független, vagyis amikor a sebességeloszlás nem függ attól, mikor nézünk a rendszerre. Ilyenkor az áramvonalak nem változnak, és a részecskék azon az áramvonalon haladnak végig, melyre kezdetben kerültek.

A festékrészecskék mozgását *időfüggetlen* áramlás esetén nem olvashatjuk le az áramvonalak alakjából. A részecske nagyon rövid ideig ugyan az éppen aktuális áramvonalat követi, de ez utóbbi időben változik, ezért a pályavonal különbözni fog bármelyik áramvonalától. A legegyszerűbb közelítésben feltesszük, hogy a diffúzió elhanyagolható, hogy a festék sűrűsége megegyezik a közegével, s nincs tehetetlensége, azaz rögtön fölveszi az áramlás adott helyen és pillanatban érvényes $\underline{v}(\underline{r}, t)$ sebességét. A részecske mozgását tehát a

$$\underline{v}_{\text{részecske}} = \underline{v}(\underline{r}, t) \quad (1)$$

egyenlet alapján kell meghatározni. Ha az áramlás sebességeloszlása ismert, ez egy közönséges differenciálegyenlet megoldását igényli, hiszen

$$\underline{v}_{\text{részecske}} = d\underline{r} / dt.$$

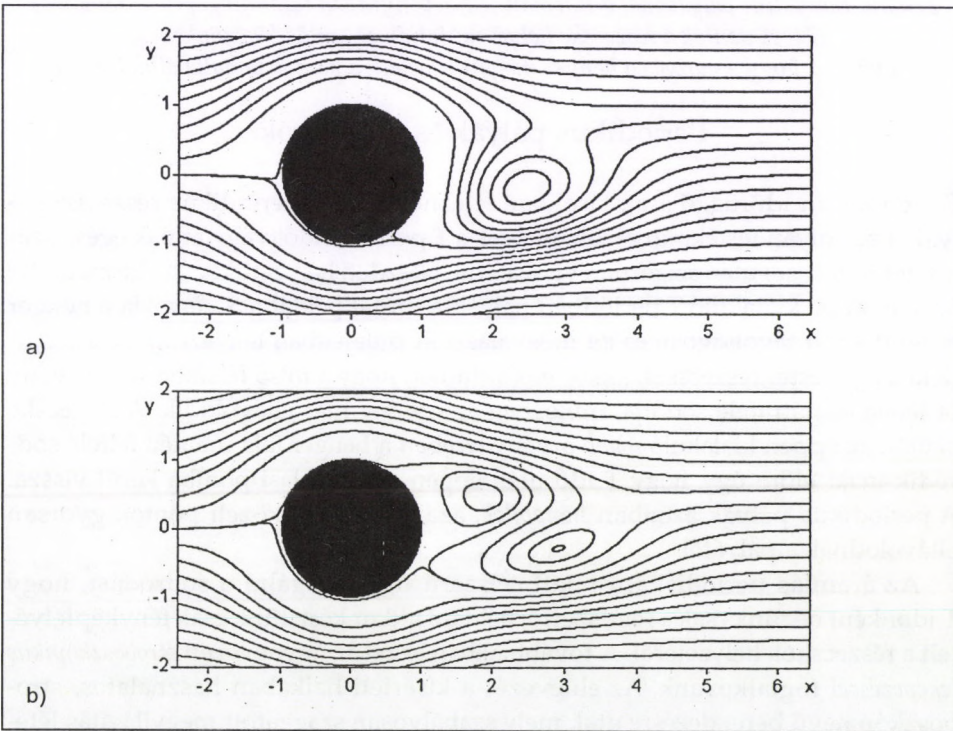
Érdemes hangsúlyozni, hogy a \underline{v} ismeretében még csak kvalitatív állítás sem tehető a pályavonalak alakjáról az (1) egyenlet megoldása nélkül. A tapasztalat szerint alapvetően más típusúak lesznek, mint az áramvonalak. A pályavonalak bonyolultságáról, a *sodródás kaotikus mivoltáról* csak az utóbbi évtizedben kezdtek gyarapodni ismereteink [1].

Egy tipikus áramlás: a Kármán-féle örvényút

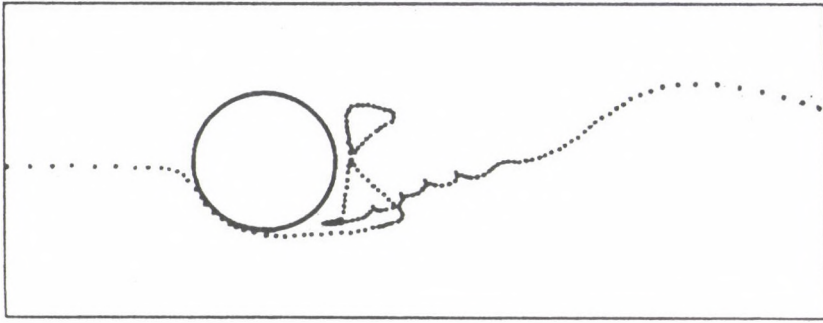
Tekintsük azt a gyakori jelenséget, amikor az áramlás útjába valamilyen akadály kerül, mint például hídpillér a folyómederben vagy sziget egy tengeráramlásban. Konkrét példaként a legszabályosabb akadály, a henger esetét vizsgáljuk.

A henger körüli áramlás időfüggetlensége egy kritikus áramlási sebességnél megszűnik. Ettől kezdve örvények nem tapadnak többé a hengerhez, hanem felváltva leválnak róla, s elsodródhatnak a folyadékkal. Egy idő után kihálnak, miközben újabb örvény születik a hengerhez közel. Az így kialakuló áramlást első leíró-

járól, a magyar származású Kármán Tódorról, *Kármán-féle örvényútnak* nevezik. Az áramvonalak időben változnak, amint azt az 1. ábra jelzi, de az áramlás szigorúan *periodikus*: valamely T idő eltelte után a sebességeloszlás ismétli önmagát. Az egyszerű áramvonal-szerkezet ellenére a pályavonalak meglehetősen bonyolultak lehetnek [2], ugyanis a részecskék hosszú ideig csapdába eshetnek a henger mögötti tartományban (2. ábra). Áramlásban elhelyezkedő szigetek, földnyelvek, akadályok mögött a folyadék által sodort anyagok, táplálék, szennyezés halmozódik fel; a sirályok a hídpillérek környékén halásznak.



1. ábra. A Kármán-féle örvényút áramvonalai henger körüli áramlásban. Az áramlás balról jobbra történik. A felső kép a $t=0$ pillanatban, az alsó a negyed periódussal későbbi ($t=T/4$) állapotot mutatja. Az eredetileg a henger alsó része mögötti örvény negyed periódus alatt hátrább sodródik, és gyengül, miközben a henger felső része mögött egy új örvény fejlődik ki. A $t=T/2$ és $t=3T/4$ pillanatbeli áramvonalhálózat a fenti, illetve lenti képnek a kör közepén átmenő vízszintes tengelyre való tükrözésével kapható. A teljes periódussal későbbi áramlás ($t=T$) azonos a felső képen láthatóval

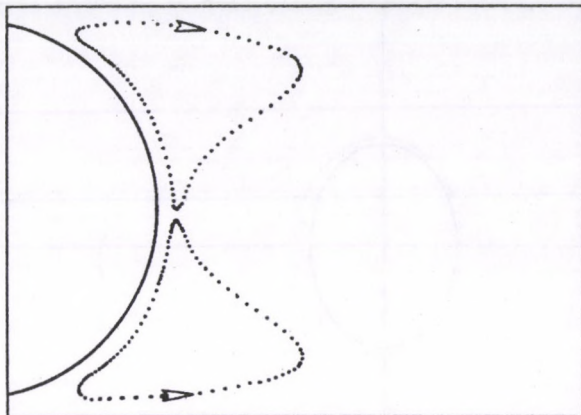


2. ábra. Bonyolult pályavonal a Kármán-féle örvényútban (számítógépes szimulálás)
[2]. A pontok a részecske helyét mutatják egyenlő időközönként.
Jól látszik, hogy a mozgás a henger mögött lelassul, a pontok vonallá állnak össze

Periodikus pályák és sokaságok

Periodikusan időfüggő áramlásokban léteznek valódi periodikus részecskepályák. Ezek olyan festékmozgások, melyek a T periódusidő (vagy annak egész számú többszöröse) után szigorúan visszatérnek kezdeti helyzetükbe. A Kármán-féle örvényútban kialakuló T periódusú pályákra mutat példát a 3. ábra. Ha a henger mögött adott távolságban és jól megválasztott pillanatban helyezünk be a folyadékba egy festékrészecskét, akkor előfordulhat, hogy a felső félsíkon levő örvény őt lefelé és hátrafelé sodorja, miközben az örvény már eltávolodik. A részecske ezután az éppen kialakuló újabb örvény terében a henger fala mentén felfelé sodródik majd előre úgy, hogy T idő után éppen a kiindulási pontba kerül vissza. A periodikus pályák azonban *instabilok*, azaz hozzájuk közeli pontok gyorsan eltávolodnak a pályától.

Az áramlás periodicitása miatt célszerű úgy vizsgálni a sodródást, hogy T időnként nézünk csak a rendszerre, például akkor készítünk csak fényképfelvételt a részecskék helyzetéről. A továbbiakban ezzel az úgynevezett *stroboszkopikus leképezéssel* foglalkozunk. Az elnevezés a kísérleti fizikában használatos, stroboszkóp nevű berendezésre utal, mely szabályosan szaggatott megvilágítás létesítésére képes. Vegyük észre, hogy egy T periódusú részecskepálya a stroboszkopikus leképezésen egyetlen önmagát ismétlő pontnak, fix pontnak felel meg. Egy általános mozgás a leképezésen ugrálva haladó pontsorozatként jelenik meg. A stroboszkopikus leképezésen a periodikus pályák hasonló szerepet játszanak, mint egy időtől független áramlás torlódási pontjai. Ennek megfelelően minden periodikus pályának van egy vonzó és egy taszító sokasága, azaz egy-egy görbe, melynek mentén a periodikus pályának megfelelő pont (ugrálva) elérhető, illetve amely mentén a pont kis környezetéből eltávolodnak a részecskék.



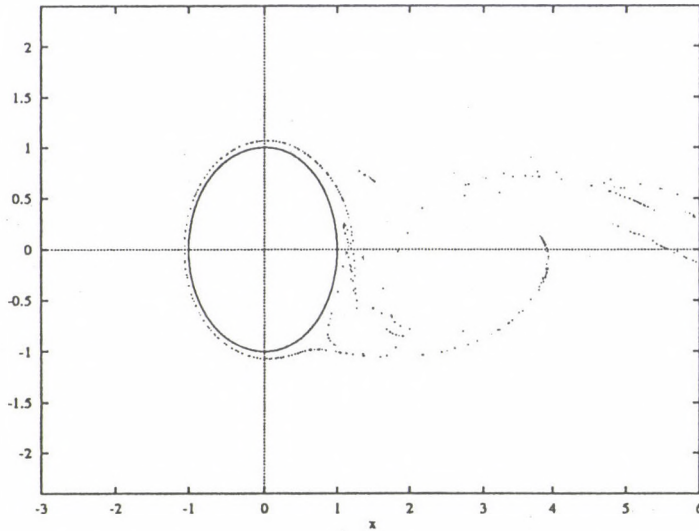
3. ábra. Két instabil periodikus pálya (melyek egymás tükörképei) numerikus szimulálással kapott képe a Kármán-féle örvényútban [2]

Ráadásul nemcsak néhány, hanem sok ilyen instabil periodikus pálya létezik. A henger mögötti részecskemozgás ezért kaotikus, azaz sohasem ismétlődő. A megfelelő pályák (2. ábra) ebben a tartományban bonyolult görbék, s a kicsit különböző helyen beérkező festékrészecskék pályavonala teljesen különböző görbe lehet. A kaotikus sodródás ezért mindig *bonyolult sokaságok* (4. ábra) megjelenésével együtt lép fel [2]. Jelentős keveredés csak a sokaság mentén történik, ezért a keveredés óhatatlanul *részleges* a folyadék egész tartományaira kiterjedő homogén keveredéshez képest.

A probléma összetettségének érzékeltetésére megjegyezzük, hogy olyan periodikus pályák is léteznek, melyek periódusa T nagy egész számú többszöröse. A *periodikus pályák száma végtelen*, s mindegyik rendelkezik saját vonzó és taszító sokasággal. Ezek mind különböző görbék, de egymáshoz nagyon közel haladnak el, így e sokaságok mindegyike sokszor visszatér ugyanabba a tartományba, csak egyre közelebb az eredeti ágakhoz. Ebből adódik kaotikus sodródás esetén a sokaságok *fraktálszerkezete* (4. ábra). A sokaság D_0 fraktáldimenziója független az időtől, és 1 és 2 közé eső szám.

A festékcsepp a taszító sokaságot rajzolja ki

Időfüggő áramlások esetén hosszú idő után a festékcsepp valamely periodikus pálya (vagy több ilyen pálya) taszító sokaságát rajzolja ki, ami kaotikus részecskemozgás esetén egy fraktál görbe. Azt mondhatjuk tehát, hogy *fraktál festékminták a kaotikus sodródás egyértelmű jelei*, s taszító sokaságokat rajzolnak ki. A 4. ábra a henger mögötti periodikus pályák összességének taszító sokaságát mutatja numerikus szimulálás eredményeként [3,4].

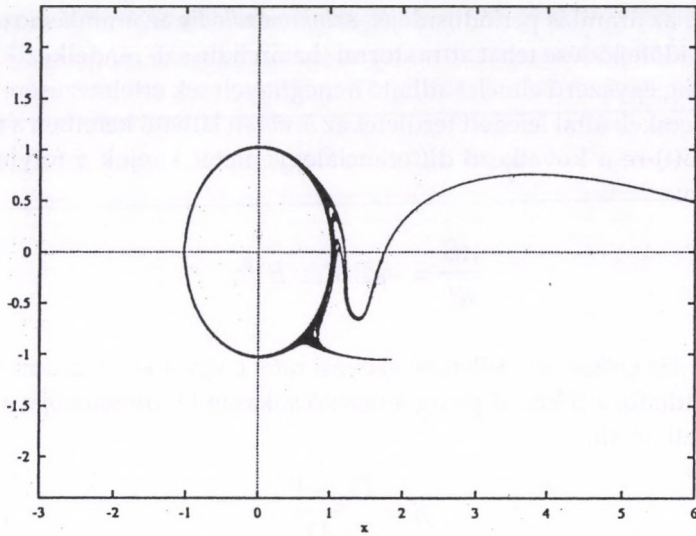


4. ábra. A henger mögötti taszító sokaság numerikus szimulálással kapott képe a Kármán-féle örvényútban [3] a stroboszkopikus képen. A sokaság fraktáldimenziója $D_0=1,6$. A henger előtt becseppentett festékcsepp sokáig a henger körül tartózkodó része éppen ezt a görbét rajzolja ki.

A most megismert mechanizmussal magyarázható számos hétköznapi tapasztalat is. A Kármán-féle örvényútban történő sodródással kapcsolatos az a megfigyelés, hogy hídpillérek vagy kis földnyelvek mögött a sodródó részecskék ideiglenesen fölhalmozódhatnak. Ha kiterjedt szennyeződés mozgását követjük, az szálas, fraktál szerkezetű lesz az akadály mögött. Ugyanennek nagy léptékű megnyilvánulása a magas hegyek mögötti örvényút következtében a felhőrétegben kialakuló mintázat. Ezek mind fraktáltaszító sokaságok és kaotikus részecskemozgás jelenlétére utalnak.

Reakciók

A reakciók talán legegyszerűbb modelljéhez [5] úgy jutunk, hogy pontszerű sodródó részecskéket tekintünk, amiknek egy bizonyos tulajdonsága, például színe, ütközéskor adott szabály szerint változik. Legyen ez a szabály a fertőzés: a B fertőző (fekete) részecske az A intakt (fehér) részecskét ütközéskor fertőzővé (feketévé) változtatja. Ütközésről akkor beszélünk, ha az A és B részecskék közötti távolság kisebb, mint egy előírt σ érték. A könnyebb áttekinthetőség és numerikus szimulálás kedvéért feltesszük, hogy a reakciók csak valamilyen τ időközönként követik egymást. A τ intervallum alatt csak sodródás zajlik, s eltelte után vizsgáljuk meg, hogy éppen mely részecskék vannak ütközési pozícióban. Ezek



5. ábra. A fertőző B (fekete) részecskék eloszlása a henger mögött 20 áramlási periódussal a folyamat elkezdése után. Kezdetben az $x=-2,5$ $y=0$ pont körüli kis téglalapon voltak csak B részecskék. A reakció paraméterei $\sigma = 1/150$ henger sugár, $\tau = 1/5$ periódus [5]

között a reakció pillanatszerűen lezajlik. Ezután τ ideig ismét passzív sodródás következik, majd megint pillanatszerű reakció. A σ reakciótávolság és τ reakció-idő az aktív folyamat paraméterei. Természetesen vizsgáljuk majd a folytonos idejű határesetet, amikor τ -val nullához tartunk (gyakori reakciók) úgy, hogy közben a reakciótávolság is egyre kisebb, de a

$$v_r = \frac{\sigma}{\tau}$$

reakciósebesség állandó. Ebben az esetben a termékdinamikára differenciálegyenletet vezethetünk majd le.

Az 5. ábra a B (fekete) részecskék eloszlását mutatja a fent leírt reakciómodell numerikus szimulálásában egy olyan esetre, amikor B részecskéket helyeztünk a henger előtt a folyadék felszínére, s azok sodródásuk közben a felszínen lévő A részecskéket megfertőzték. A fekete részecskék a várakozásnak megfelelően a taszító sokaságon halmozódnak fel. Ami nem annyira nyilvánvaló, az, hogy kialakul egy egyensúlyi állapot (steady state), melyben egy adott tartományra nézve ugyanannyi B részecske keletkezik, mint amennyi elsodródik. A B részecskék egy jól definiált átlagos vastagságban fedik le a taszító sokaságot. A reakció

tehát átveszi az áramlás periódusidejét, *szinkronizálódik* az áramláshoz. A reakciós folyamat időfejlődése tehát attraktorral (határciklussal) rendelkezik.

Viszonylag egyszerű elmélet adható a megfigyelések értelmezésére [5]. Jelölje $B(t)$ a B részecskék által lefedett területet az 5. ábrán látható keretben a t idő függvényében. $B(t)$ -re a következő differenciálegyenletet kapjuk a folytonos idejű határesetben:

$$\frac{dB}{dt} = -\kappa B + c v_r B^{-\beta}.$$

Itt κ az áramlás erősségére jellemző szökési ráta, c egy a keret geometriájára jellemző együttható, a β kitevő pedig a taszító sokaság D_0 dimenziójával egyértelmű kapcsolatban áll,

$$\beta = \frac{D_0 - 1}{2 - D_0}.$$

Az egyenlet tehát a folyadék transzportáló hatásának (jobb oldali előtag) és a kémiai aktivitásnak (második tag) a versengését írja le.

Mivel $1 < D_0 < 2$, a β kitevő pozitív. A második tag tehát a terület *negatív* hatványát tartalmazza. A reakció következtében keletkező termék tehát annál több, minél kisebb a terület. Ez a fraktál katalizátor, a taszító sokaság jelenlétének következménye. Ily módon tehát új típusú egyenletet kaptunk, mely jóval erősebb aktivitást ír le, mint nem kaotikus áramlásokban (ahol $D_0 = 1$, ezért $\beta = 0$, s így a reakció aktivitása nem is függ B -től).

Összefoglalás

Vizsgálataink mind a jelenségszinten, mind mélyebb elméleti szinten érdekes következményekre vezetnek.

Jelenségszinten egy lehetséges magyarázatát kapjuk a természetben, főleg a nagyskalájú környezeti áramlásokban megfigyelt *szálas termékeloszlásoknak*. A diffúzió csekély szere miatt ezek a sodródás kaotikus mivoltából következő fraktál taszító sokaságok mentén történő felhalmozódás és az ott felerősödő aktivitás következményei.

A statisztikus fizika szemléletében egyszerű részecskemodellünk egyfajta mikroszkopikus leírásnak, kinetikus elméletnek felel meg. A levezetett kémiai reakció-egyenlet viszont egy makroszkopikus összefüggés, ami a transzport egyenletekkel rokon. Az alkalmazott eljárás hasonló ahhoz, amikor a Boltzmann-egyenletből vezetjük le a nemegyensúlyi termodinamika törvényeit. A kapott kémiai egyenlet

tartalmaz viszont egy olyan új szinguláris tagot (B^β), amit a termodinamikában nem kaphatunk meg. Az egyenlet egy stacionárius állapothoz (attraktorhoz) tartást ír le, benne az idő iránya nem fordítható meg, tehát a folyamat irreverzibilis. Ennek ellenére nincs összhangban a nemegyensúlyi termodinamikával. Az ok nyilván az, hogy a stacionárius állapot a termikus egyensúlytól nagyon távol esik. Új típusú transzport egyenleteket várhatunk minden esetben, amikor a mikroszkopikus elmélet olyan dinamikán alapul, ami az elérhető fázistérnek egy fraktál alhalmaza környékére koncentrálódik.

*

A szerző köszönetét fejezi ki Jánosi Imrének, Károlyi Györgynek, Péntek Áronnak, Scheuring Istvánnak és Toroczkai Zoltánnak az eredményes közös munkáért. A kutatás az OTKA T019483, T032423, a Magyar–Amerikai Közös Alap 501 és MTA–OTKA–NSF 037/33422 pályázati támogatásával folyt, illetve folyik.

Irodalom

1. Ottino, J. M.: *The Kinematics of Mixing: Stretching, Chaos and Transport*. Cambridge University Press, 1989.; Ottino, J. M. *Scientific. American*, 1989, 260, 40. (Magyar fordítás: *Tudomány*, 1989. márc., 36.); Jánosi, J. M., Tél, T., Wolf, P. E., and Gallas, J. A. C.: *Phys. Rev.*, 1997, E56, 2858.
2. Jung, C., Ziemniak, E., J.: *Phys.*, 1992., A25, 3929.; Jung, C., Tél, T., Ziemnak, E.: *Chaos*, 1993, 555; *Physica*, D76, 123.
3. Péntek, A., Toroczkai, T., Tél, T., Grebogi, C., Yorke, J.: *Phys. Rev.*, 1995, E51, 4076.
4. Tél T.: *Természet Világa*, 1996, 127, 386.
5. Toroczkai, Z., Károlyi, G., Péntek, Á., Tél, T., and Grebogi, C.: *Phys. Rev. Lett.*, 1998, 80, 500; Károlyi, Gy., Péntek, Á., Toroczkai, Z., Tél, T., Grebogi, C.: *Phys. Rev.*, 1999, E59, 5468.; Tél, T., Károlyi, Gy., Péntek, Á., Scheuring, I., Toroczaki, Z., Grebogi, C. and Kadtke, J.: *Chaos*, 2000, 10, 89.; Scheuring, I., Károlyi, Gy., Péntek, Á., Tél, T. and Toroczkai, Z.: *Freshwater Biology*, 2000, 45, 123.; *Proceedings of the National Academy of Sciences (USA)*, 2000, megjelenés alatt.

Egy új kvantumközeg: Bose–Einstein kondenzált gázok

Először 1995-ben sikerült atomok gázában Bose–Einstein kondenzációt létrehozni és a kondenzátumot direkt módon kimutatni. E munkában áttekintjük az azóta történt jelentősebb kísérleti fejleményeket, valamint röviden ismertetjük a kísérletek elméleti hátterét is.

Bevezetés

A század eleje óta ismert a Bose-kondenzáció jelensége, amely egész spinnel rendelkező részecskék esetén léphet fel. Rögzített részecskeszámú bozont tartalmazó rendszerben létezik egy kritikus T_c hőmérséklet, amely alatt a részecskék véges hányada foglalja el a legalacsonyabb energiájú állapotot. Ezek a részecskék alkotják a kondenzátumot. Bose-kondenzáció lép fel például a hélium folyadékban a szuperfolyékony fázisátalakulási hőmérséklet alatt. Héliumban az atomok közötti viszonylag erős kölcsönhatás és a gázokénál sokkal nagyobb sűrűség miatt még zérus hőmérsékleten is csak a részecskék kevesebb mint 10%-a van a kondenzátumban [1].

Olyan kondenzátum létrehozása, amely a rendszert alkotó atomok nagy részét tartalmazza, sokáig reménytelen volt a várható rendkívül alacsony kritikus hőmérséklet miatt. Az atomok kölcsönhatását figyelmen kívül hagyva, Bose–Einstein kondenzáció lép fel, ha az atomok termikus De Broglie-hullámhossza összemérhető a részecskék átlagos távolságával. A pontos numerikus együtthatót is figyelembe véve T_c -re

$$T_c = 0,53 \frac{2\pi\hbar^2}{mk_B} n^{2/3} \quad (1)$$

adódik, ahol m a bozonok tömege, n a sűrűségük, \hbar a Planck-, k_B pedig a Boltzmann-állandó. Kis sűrűségű rendszert, azaz például 10^{-4} cm átlagos részecske-távolságot és valamilyen közepesen nehéz, egész spinű atomot véve T_c -re, μK -nél lényegesen alacsonyabb hőmérséklet adódik, azaz igen alacsony hőmérsékletek elérése szükséges a jelenség kimutatásához.

Kísérleti oldalról fronttátörést jelentett, hogy alkáliatomok gőzeit az 1980-as években lézerrel sikerült ilyen μK alatti hőmérsékletre lehűteni. Bose-kondenzátum létrehozása atomok gőzeiből és annak direkt kísérleti kimutatása azonban csak 1995-ben történt meg [2], amikor a hűtési folyamatot a mágneses csapdába zárt Rb -gáz párologtatásával tovább folytatták, és T_c alatti hőmérsékletet értek el.

Az első sikeres, csapdába zárt Bose-kondenzátum megfigyelése ^{87}Rb atomokkal történt, nagyságrendileg 100 nK hőmérsékleten [2] a JILA-ban (Joint Institute for Laboratory Astrophysics). Ezt a Rice Egyetemen ^7Li -mal [3], majd az MIT-ben ^{23}Na -mal végzett sikeres kísérlet [4] követte 1995-ben. 1998-ban szintén az MIT-ben egy másik kutatócsoport sikeres kondenzációs kísérletet hajtott végre hidrogéngázzal is. Az 1995-ös kezdetek óta mintegy húsz laboratóriumban sikerült a kondenzátum létrehozása és kimutatása, ^{87}Rb és ^{23}Na izotópokat használva.

Elvben az alkáliatomok fermion típusú izotópjai szintén hűthetők és csapdázhatók a fenti kísérleti technikákkal. Nem véletlen, hogy jelenleg intenzív kísérletek folynak fermionokkal is. Természetesen a fermionos kísérletek célja nem a Bose–Einstein kondenzáció, hanem a szupravezetőknél jól ismert BCS-fázisátalakulás kimutatása, ahol a fermionok a kritikus hőmérséklet alatt párokba rendeződnek (Cooper-párok). A kísérleti technika talán már a közeljövőben lehetővé teszi a BCS-fázisátalakulás kimutatását.

1995 óta a téma óriási ütemű fejlődést mutatott. Tekintettel a témában megjelent nagyszámú publikációra, a jelen cikk irodalomjegyzéke távolról sem lehet teljes. További refenciákért a Bose–Einstein kondenzáció honlapra (<http://amophy.gasou.edu/bec.html>), a <http://xxx.lanl.gov> preprint könyvtár *cond-mat* szekciójában a témával foglalkozó nagyszámú publikációra és három összefoglaló cikkre [5, 6, 7] utalunk.

Bose–Einstein kondenzáció csapdában

A mai kísérletekben az alkáliatomok gázát először lelassítják, illetve lézerrel összenyomják, majd mágneses csapdába zárják, ahol az atomi hiperfinom állapotok kiválasztása is megtörténik, oly módon, hogy az atomok a mágneses csapdában mind ugyanabban a spinállapotban lesznek. Ekkor az alkáliatomok gázát tovább hűtik az úgynevezett párologtatásos hűtéssel, ez egy rádiófrekvenciás mágneses tér rövid idejű bekapcsolását jelenti, amely a viszonylag nagy kinetikus energiájú atomok spinjének szelektív átfordítását eredményezi. Ezeket az átfordult spinű atomokat a csapda nem tudja megfogni, azok kirepülnek a csapdából. Az alkáliatomok viszonylag nagy hatáskeresztmetszetének köszönhetően a többi atom újra termalizálódik, de már alacsonyabb hőmérsékleten, és bekövetkezik az általában harmonikus oszcillátor-csapdapotenciál alsó nívóinak a populálása. Következésképpen alacsonyabb hőmérséklet és ugyanakkor nagyobb sűrűség jön létre a csapda közepén.

Az alkáliatomok közötti kölcsönhatás erősségét a kísérletekben előforduló igen alacsony energiákon és hőmérsékleten elegendő az s -hullámú szórási hosszal jellemezni. Ennek megfelelően beszélhetünk taszító, illetve vonzó kölcsönhatásról, amennyiben az s -szórási hossz pozitív, illetve negatív. A [3] kísérlet igazi érdekességét az adja, hogy a ${}^7\text{Li}$ atomok a -val jelölt s -szórási hossza negatív. Homogén rendszerben ilyenkor ki sem alakulhat kondenzáció, mert a kondenzátum mechanikailag instabil. A kísérlet (és a későbbi elméleti vizsgálatok) eredményeképpen ma már tudjuk, hogy a csapdapotenciál a mechanikai instabilitás ellen dolgozik, és véges számú (${}^7\text{Li}$ atomok esetén körülbelül 1000) atomot tartalmazó kondenzátum hozható létre.

A gyakorlati alkalmazásokra és a nagyszámú kísérletre tekintettel a továbbiakban a pozitív szórási hossz esetére (${}^{87}\text{Rb}$, ${}^{23}\text{Na}$) korlátozódunk. A ${}^{87}\text{Rb}$ -ban és ${}^{23}\text{Na}$ -ban egyetlen elektron van a zárt héjon kívül. Ennek megfelelően az elektronfelhőt az $L = 0$, $S = 1/2$, $J = 1/2$ kvantumszámokkal jellemezhetjük. Mivel ezen atomok magspinje $i = 3/2$, ezért a spinösszeadás szabályainak megfelelően az atomok teljes $\vec{F} = \vec{J} + \vec{i}$ spinje $F = 2$ és $F = 1$ lehet (ezek egész értékűek, ezért a fenti atomok bozonok). Mágneses térben az atomi szintek felhasadnak (Zeeman-felhasadás) a különböző m_F értékekkel ($m_F = -F, -F+1, \dots, F-1, F$) jellemezhető állapotokra. A felhasadás nagysága $\sim \mu_B g_F m_F |\vec{B}|$, ahol $\mu_B = e\hbar/2m_e$ a bohr-magneton; $g_F = 1/2$, ha $F = 2$, $g_F = -1/2$, ha $F = 1$; \vec{B} pedig az alkalmazott mágneses tér. Inhomogén mágneses teret alkalmazva a csapdába zárt atomok egy

$$V(\vec{r}) = \mu_B g_F m_F |\vec{B}(\vec{r})|, \quad (2)$$

effektív potenciált éreznek. A kísérletekben olyan mágneses tereket alkalmaznak, hogy

$$V(\vec{r}) = V(0) + \frac{1}{2} m \omega_x^2 x^2 + \frac{1}{2} m \omega_y^2 y^2 + \frac{1}{2} m \omega_z^2 z^2 \quad (3)$$

legyen az effektív külső csapdapotenciál a $g_F \cdot m_F > 0$ állapotokra ($V(0) > 0$). A $g_F \cdot m_F = 0$ állapotú atomok a csapdapotenciált „nem érzik”, a $g_F \cdot m_F < 0$ állapotú atomokat pedig a csapdapotenciál kitaszítja.

A fentiek alapján könnyen megérthető a párolgatatásos hűtés sémája. A lassúbb, hidegebb atomok az eltolt harmonikus oszcillátorpotenciál centrumában helyezkednek el, a gyorsabb, hidegebb atomok pedig a csapdapotenciál közepétől távolabb vannak. Ha az itteni csapdapotenciál értékével megegyező energiájú rádiófrekvenciás mágneses teret kapcsolnak be, az a gyorsabb atomok spinjét szelektíve átforgatja a nem csapdázható $m_F = 0$ állapotba. Ez az átfordítás a többi

atommal való ütközések révén energiát von el a többi atomtól. Ha jól választják meg a paramétereket, akkor elérhető, hogy a gyorsabb atomok spinjének átfordításával a termalizáció után a megmaradó atomok hőmérséklete tovább csökken.

A kísérletekben a csapdában lévő atomok együttesét optikai úton detektálják CCD-kamerák segítségével. Ez kétdimenziós felbontást tesz lehetővé. A kamera pixeljeiben lényegében azt az abszorpciós információt rögzítik, hogy adott optikai úton, ami a kamera megfelelő részéhez vezetett, mennyi fény nyelődött el. Az abszorpció arányos az optikai úton mért integrális sűrűséggel, így az anyag-halmaz sűrűségeloszlásának egy kétdimenziós „vetülete” mérhető. A kritikus hőmérséklet felett a CCD-kamerán a termikus eloszlásnak megfelelő, a közép-ponttól minden irányban egyformán csökkenő, de sima lefutású intenzitáskép látható. T_c alatt középen megjelenik egy anomális csúcs a csapda közepén elhelyezkedő, a kondenzátumban lévő atomoknak köszönhetően. Amennyiben az anomális csúcson kívüli, a termikus atomok térbeli eloszlásából adódó intenzitás-járlék jól mérhető, akkor ennek lefutásából meghatározható a csapdában elhelyezkedő atomok hőmérséklete. Néha az jelenti a kísérleti problémát, hogy az anomális csúcson kívüli rész detektálhatatlanul kicsi (azaz majdnem minden atom a kondenzátumban van), ilyenkor a hőmérséklet ezzel a módszerrel nem mérhető. Mivel a kamerán a teljes kétdimenziós sűrűségeloszlás-„vetület” mérhető, így az anomális csúcs alatti részt felintegrálva, megkapható a kondenzátumban lévő atomok száma, a fennmaradó rész integrálja pedig megadja a kondenzátum feletti atomok számát.

A JILA-ban az első kísérletek során majdnem gömb alakú, néhány mikron átmérőjű kondenzátumokat hoztak létre, és a felbontás javítására destruktív mérést használtak. A kondenzátum preparálása (időfüggő jelenségek tanulmányozásakor is) igen nagy pontossággal reprodukálható, ezért adott időpontban a csapdapotenciált kikapcsolják, és az anyagcsomót hagyják tágulni a részecskék közötti taszításnak köszönhetően. A detektálást egy későbbi időpontban végzik, így a repülési időtartamból és az annak végén a CCD-kamerán mért intenzitásképből a szétrepülés kezdetekor meglévő mennyiségek visszaszámolhatók [7]. A módszer hátránya, hogy minden egyes mérési ponthoz egy új kondenzátumot kell létrehozni. Az MTI-ben technikai okokból *in situ* méréseket is tudnak végezni. Az újabb MIT-kondenzátumok igen hosszú szivaralakra hasonlítanak, hosszuk megközelítőleg fél milliméter [8]. A kondenzátum is viszonylag sok atomot tartalmaz, így a hosszabbik tengelyre merőlegesen is szélesebb a kondenzátum, amely már lehetővé teszi a repülésiidő-módszer mellőzését és a direkt detektálást.

A kritikus hőmérséklet alatt számos jelenség tanulmányozható kísérletileg. A kondenzátum alakja módosítható a csapdapotenciál és a rádiófrekvenciás mágneses tér jellemzőinek változtatásával, illetve nem rezonáns, nagy intenzi-

tású lézerfény alkalmazásával. A lézerrel el lehet vágni két részre a kondenzátumot, abba „lyukat lehet fúrni”.

Számos mérés található az irodalomban a kondenzátum és a termikus felhő dinamikai jelenségeire vonatkozólag is. Elméleti szempontból legfontosabbak talán az elemi gerjesztések és a csillapodásukra vonatkozó mérési eredmények [9, 10, 11, 12, 13]. Ezek direkt összehasonlítást tesznek lehetővé a különböző elméleti számolások eredményeivel. A harmonikus oszcillátor külső potenciál egy bezáró potenciál, ezért az elemi gerjesztések spektruma a csapdába zárt atomok esetén a szuperfolyékony héliummal szemben diszkrét.

Mind a JILA-ban, mind pedig az MIT-ben a harmonikus oszcillátor-csapdapotenciál hengerszimmetrikus ($\omega_x = \omega_y$), így az impulzusmomentumnak a szimmetriatengelyre való vetülete jó kvantumszám. Mindkét helyen mérték a legalacsonyabb $m = 0,1,2$ kvantumszámmal jellemzett elemi gerjesztések frekvenciáját és csillapodását. Az $m = 1$ -es legalacsonyabb módus a kondenzátum tömegközépponti mozgását írja le, ami nem csillapodik, és frekvenciája megegyezik az ω_x csapdafrekvenciával, ezért a csapdafrekvencia kalibrálására használható. Az $m = 0,2$ -es legalacsonyabb módusok már csillapodnak is. Mérésük a következőképpen történt: a csapdafrekvenciákat igen kissé szinuszosan modulálva a kondenzátum adott m -ű módusai szelektíve gerjeszthetők. A moduláció kikapcsolása után a kívánt m -ű magasabb gerjesztések hamarabb csillapodnak, így azok kihálása után már csak a kívánt módus látszik a CCD-kamerán, azaz az időben egymást követő sűrűségeloszlások képeiből mind a keltett módus frekvenciája, mind annak csillapodása mérhetővé válik.

Elméleti leírás

A csapdába zárt atomok közötti kölcsönhatás elhanyagolásával kapott ideális gázmodell jó közelítést ad a kritikus hőmérséklet közelében, mert ebben a hőmérséklet-tartományban a részecskesűrűség kicsi. Ugyanez az egyszerű elmélet mérési pontosságon belül jósolja meg a kondenzátumban lévő részecskék számát egészen az elért legalacsonyabb hőmérsékletekig. Más a helyzet azonban a kondenzátum kiterjedését és dinamikáját tekintve, mert ekkor az alkáliatomok közötti kölcsönhatásnak meghatározó szerepe van.

A kölcsönhatást is figyelembe véve, a Hamilton-operátor elsőkvantált formája

$$H = \sum_{i=1}^N \left(-\frac{\hbar^2}{2m} \Delta_i + V(\vec{r}_i) \right) + \frac{1}{2} \sum_{i \neq j=1}^N v(\vec{r}_i - \vec{r}_j) \quad (4)$$

alakú. Elméleti vizsgálatokra alkalmasabb ugyanennek a Hamilton-operátor-nak a másodkvantált alakja:

$$H = \int \Psi^+(\vec{r}) \left(-\frac{\hbar^2}{2m} \Delta + V(\vec{r}) \right) \Psi(\vec{r}) d^3r + \frac{1}{2} \int \Psi^+(\vec{r}) \Psi^+(\vec{r}') v(\vec{r} - \vec{r}') \Psi(\vec{r}) \Psi(\vec{r}') d^3r d^3r', \quad (5)$$

ahol $\Psi(\vec{r})$ Bose-típusú téroperátor a szokásos kommutátorral:

$$[\Psi(\vec{r}), \Psi^+(\vec{r}')] = \delta(\vec{r} - \vec{r}'). \quad (6)$$

A kísérletekben az átlagos részecsketávolság nagyságrendekkel nagyobb volt a kondenzátum legsűrűbb részén is, mint a tipikus atomi-kétresejecske kölcsönhatások karakterisztikus hatótávolsága. Minthogy az ütköző atomok energiája igen kicsi, a $v(\vec{r} - \vec{r}')$ kölcsönhatást a

$$v(\vec{r} - \vec{r}') = v \delta(\vec{r} - \vec{r}') \quad (7)$$

kontaktpotenciállal helyettesíthetjük, ahol

$$v = \frac{4\pi\hbar^2 a}{m}, \quad (8)$$

a pedig az s -hullámszórési hossz.

Zérus hőmérsékleten átlagtér-közelítést alkalmazva a téroperátor

$$\Psi_0(\vec{r}, t) = \langle \Psi(\vec{r}, t) \rangle \quad (9)$$

alapállapotú várhatóértékének mozgásegyenlete a (5) Hamilton-operátorból kiindulva az

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \Psi_0(\vec{r}, t) = \left\{ -\frac{\hbar^2}{2m} \Delta + V(\vec{r}) + \frac{4\pi\hbar^2 a}{m} |\Psi_0(\vec{r}, t)|^2 \right\} \Psi_0(\vec{r}, t) \quad (10)$$

alakba írható. Ennek $\Psi_0(\vec{r}, t) = e^{i\mu t/\hbar} \Psi_0(\vec{r})$ alakú megoldása egy nemlineáris Schrödinger-egyenletre vezet a $\Psi_0(\vec{r})$ stacionárius kondenzátum-hullámfüggvényre, ahol μ a kémiai potenciál. Ez az egyenlet az úgynevezett Gross-Pitaevskii egyenlet.

Az elemi gerjesztések meghatározására az átlagtér-közelítés következő lépése az úgynevezett Bogoliubov-egyenletekre vezet. Zérus külső potenciál esetén a Hamilton-operátor transláció-invariáns, a kondenzátum nem mutat helyfüggést. Ezért a Bogoliubov-egyenleteket zérus külső potenciál esetén impulzusreprezentációban célszerű megoldani. Csapdapotenciál esetén a Bogoliubov-egyenleteket viszont valós térben célszerű megoldani, mert azok tartalmazzák a Gross–Pitaevskii egyenlet megoldását paraméterként. Megoldásuk csak numerikus módszerekkel lehetséges (lásd a [6] összefoglaló munkát és a benne található további hivatkozásokat).

A fenti zérus hőmérsékletű számolás természetesen nem adhat számot hőmérsékletfüggő effektusokról. A mérések szerint az elemi gerjesztések frekvenciái gyengén, csillapodásuk erősen hőmérsékletfüggő a kritikus hőmérséklet alatt. Az elemi gerjesztések hőmérsékletfüggéséről már számot adó, de a csillapítást még nem leíró közelítés az úgynevezett Hartree–Fock–Bogoliubov–Popov közelítés. Ez a közelítés csatolt egyenleteket tartalmaz, amelyeknek megoldása szintén csak numerikusan lehetséges [14]. A csillapodás leírására már túl kell lépni a fenti közelítéseken, és soktestprobléma-térelméleti módszereket, például a másodrendű hőmérsékletfüggő Beliaev-közelítést [15, 16] vagy az úgynevezett dielektromos formalizmuson alapuló közelítéseket [17] kell alkalmazni.

Térjünk vissza a csapdába zárt kondenzátum alacsony energiás és alacsony hőmérsékletű gerjesztéseinek kérdésére! Nagy kondenzátum esetén abban a tér részben, ahol a kondenzátum zöme van, a kondenzátum hullámfüggvénye lassan változik. Ezért a Gross–Pitaevskii egyenletben a kinetikus energia operátora elhanyagolható. Ekkor a Gross–Pitaevskii egyenlet algebrai egyenletre redukálódik. Ez az úgynevezett Thomas–Fermi közelítés, mely szerint

$$|\Psi_0(\vec{r})|^2 = \frac{m}{4\pi\hbar^2 a} [\mu - V(\vec{r})] \Theta(\mu - V(\vec{r})), \quad (11)$$

ahol $\Theta(x)$ a Heaviside-féle ugrásfüggvény. S. Stringari az időfüggő Gross–Pitaevskii egyenletből kiindulva, annak Thomas–Fermi megoldása körül linearizálva az alacsony energiás sűrűség-fluktuációkat leíró következő egyenletekre jutott [18]:

$$\delta n(\vec{r}, t) = e^{\pm i\omega_j t} \delta n_j(\vec{r}) \quad (12)$$

$$\omega_j^2 \delta n_j(\vec{r}) = -\frac{1}{m} \nabla(\mu - V(\vec{r})) \nabla \delta n_j(\vec{r}), \quad (13)$$

ahol ω_j az elemi gerjesztések körfrekvenciája. Izotróp, harmonikus oszcillátor-csapdapotenciál esetén ($\omega_x = \omega_y = \omega_z = \omega_0$) a (13) egyenlet az

$$\omega_j^2(n, l) = \omega_0^2(2n^2 + 2nl + 3n + l), \quad n, l = 0, 1, \dots, \quad (14)$$

elemi gerjesztési spektrumra vezet. A legtöbb kísérleti megvalósításnak megfelelő hengerszimmetrikus csapdapotenciál esetében Stringari az idézett műben meghatározta a (13) egyenlet néhány alacsony ω_j -jú megoldását. A fenti egyenlet összes megoldása a [19, 20] munkákban található. A mérések szerint az alacsony energiás elemi gerjesztések frekvenciáinak zérus hőmérsékletre extrapolált értékeit a (13) hidrodinamikai egyenlet kielégítően megadja. Magasabb hőmérsékletek és magasabb gerjesztések esetén a közelítés már elromlik. A (13) egyenlet megoldásai a teljesen anizotróp ($\omega_x \neq \omega_y \neq \omega_z$) csapdapotenciálra a [21] munkában találhatók. Ennek az esetnek is van kísérleti relevanciája, a NIST-ben (National Institute of Standard, Gaithersburg) alkalmazott csapda ilyen (^{23}Na izotópot használnak).

Újabb kísérleti fejlemények

Kísérleti megerősítést nyert, hogy több spinállapot szimultán létrehozható ugyanabban a csapdában. A JILA-ban először egy egykomponensű kondenzátumot hoztak létre, majd optikai pumpálással az atomok egy részét egy másik, szintén csapdázható spinállapotba rakták át [22]. Így módon egy $F = 2$, $m_F = 2$ és $F = 1$, $m_F = -1$ kvantumszámmal jellemzett kétkomponensű keveréket hoztak létre. Az abszorpciós képen a két komponens térben elvált, aminek oka az, hogy mágneses csapdában a külső potenciál tartalmazza a $g_F \cdot m_F$ szorzatot, ami a két komponensre egy kettes faktorról különbözik, így a csapdafrekvenciák a két komponensre egy $\sqrt{2}$ faktorban szintén különböznek. Figyelembe kell azonban vennünk, hogy az atomokra hat a gravitációs tér is. Egy komponensre ennek figyelembevételével a csapda középpontja egy konstans értékkel eltolódik, és az egyenletekből ez a konstans érték kitranszformálható. Nem ez a helyzet két komponens esetén, mert a két komponensre a gravitáció figyelembevételével különböző függőleges eltolódás adódik. Végeredményben két egymás fölötti, különböző spinállapotú, egymással át nem lapolódó kondenzátumot figyeltek meg. Egy másik kísérletben a JILA-csoport a két komponens átlapolódása esetén megfigyelhető dinamikát tanulmányozta [23, 24]. Ezen jelenségek megértéséhez már figyelembe kell venni, hogy a két különböző komponens atomjai kölcsönhatnak egymással, azaz lényeges a két különböző komponens közötti *s-hullámú* szórási hossz értéke. (Elméleti oldalról keverék esetén a két eltérő komponensre egy-egy Gross–Pitaevskii egyenletet kell felírni, ami tartalmaz egy-egy kereszttagot, aminek együtthatója-

ban fordul elő a különböző spinállapotú atomok szóródásának *s*-hullámú szórási hossza.)

Az MIT-ben szintén tanulmányozták a különböző spinállapotú kondenzátumok szimultán csapdázásával kapott keveréket. Ők teljesen más kísérleti megoldást és spinállapotokat választottak. Az MIT-kísérletben az atomoknak a mágneses csapdázása és a kondenzáció hőmérséklete alá hűtése után az egykomponensű kondenzátumot optikai eszközökkel összenyomták, majd kikapcsolták a mágneses csapdát. Így létrehozták az optikai csapdát [24, 26, 27]. Mivel az optikai erők spinfüggetlenek, ezért ha az optikai csapdába rakott egykomponensű kondenzátumra egy rövid rádiófrekvenciás pulzust adnak, akkor az atomok egy része egy másik spinállapotba átrakható, és az optikai csapdában a keverék összetartható. Kísérletükben az $F = 1$ mindhárom $m_F = -1, 0, 1$ komponensét detektálták: az optikai csapda kikapcsolása után homogén mágneses térben a három spinkomponens három csomóra vált szét a repülési idő-mérés során a három spinbeállásnak megfelelően [24]. A kísérletben tehát egymással átlapolódó $m_F = -1$ (mágneses úton csapdázható) és $m_F = 0, 1$ (mágneses úton nem csapdázható) spinállapotok keverékét hozták létre. Érdemes megjegyezni, hogy az optikai csapdapotenciál igen jó közelítéssel szintén harmonikus oszcillátorpotenciállal írható le. További előnye az optikai csapdának, hogy benne a kondenzátum jobban összenyomható, mint mágneses csapdában, azaz sűrűbb kondenzátum hozható létre. Technikai okokból azonban a kondenzációt előbb mágneses csapdában kell létrehozni, csak utána lehet az atomokat az optikai csapdába áthelyezni.

Az MIT-ben tanulmányozták az úgynevezett Feshbach-rezonanciákat is [28, 29]. Az irodalom Feshbach-rezonanciának nevezi azt a jelenséget, amikor valamilyen külső paraméter függvényében egy adott paraméterértéknél kvázi-kötött állapotok jönnek létre. Ilyen paraméter lehet például az elektromos vagy mágneses tér nagysága, amely terekbe az atomokat belehelyezik. Speciálisan, konstans mágneses térbe helyezve az atomokat a B_0 rezonancia körül az *s*-hullámú szórási hossz az

$$a = a_0 \left(1 - \frac{\Delta}{B - B_0} \right) \quad (15)$$

összefüggés szerint változik, ahol a_0 az *s*-hullámú szórási hossz rezonanciától távoli értéke, Δ pedig a rezonanciát jellemző állandó. Ez az összefüggés azt mutatja, hogy a változtatható, beállítható alkalmasan választott mágneses térrel az $a = 0$ érték, azaz a kölcsönhatásmentes eset, sőt elvben a pozitív szórási hossz mágneses térrel áthangolható a negatív tartományba is. A mérés szerint ilyen Feshbach-rezonancia lép fel a ^{23}Na izotóp $F = 1$, $m_F = 1$ spinbeállásakor 907 G mágneses tér esetén. Mivel ez a spinbeállás nem csapdázható, ezért optikai csapdát

kellett alkalmazni az előbb elmondott módon. Repülésiidő-módszerrel a CCD-kamerán látott intenzitásképből a szórási hossz meghatározható. A kísérleti adatokból meghatározott mágnesestér-, szórásihossz-diagramban a fenti összefüggés hiperbolaágai jól kivehetők, bár a negatív szórásihossz-tartományt nem sikerült kimutatni, mert a kondenzátum instabillá vált.

Megindult a kutatás az „atomlézer” kifejlesztésére. A megszokott lézerből koherens fotonok jönnek ki, azaz tömeg nélküli részecskék. Kell hozzá forrás, egy rezonátor és egy a rezonátorból való kicsatolási mechanizmus. Az atomlézerből koherens, tömeggel rendelkező atomok jönnek ki. Forrásként a kondenzátum szolgál, a rezonátor maga a mágneses csapda. Sokáig a kicsatolási mechanizmus volt kérdéses. Az atomlézer „prototípusánál” az MIT-ben a csapdázott $F = 1$, $m_F = -1$ állapotú atomokra rövid (azaz széles sávú) rádiófrekvenciás mágneses teret kapcsolnak, ami az atomok egy részét átbillentette az $m_F = 0$ és $m_F = 1$ állapotokba. Mivel az $m_F = 1$ állapotúakat a csapda kitaszítja, azok gyorsan eltávoztak a csapda környezetéből. Az $m_F = 0$ állapotú atomokra azonban a csapda mágneses összetartó ereje nem hat, csak a gravitáció, így az RF-pulzus kikapcsolása után az $m_F = 0$ komponensű atomok cseppje lassan esni kezdett. (Közben ez a csepp esés közben tágult.) [30]. Erről az impulzus-üzemmódú atomlézerről kimutatták, hogy belőle koherens (igaz, nem síkhullám, hanem inkább gömbhullám) atomok jönnek ki, mivel a kijövő nyalábot kettévágva, majd utána az esés közbeni két nyalábot összeengedve, azok interferencia-jelenséget hoztak létre a megfigyelésre használt CCD-kamerán [31].

Münchenben lényegében szintén ezt az elvet, azaz a gravitációt használták kicsatolási mechanizmusként, de nem széles sávú, hanem igen stabil, viszonylag hosszú idejű RF-pulzust alkalmaztak. Itt a kiindulási csapdázott komponens a ^{87}Rb $F = 2$, $m_F = 2$ spinállapota volt. A kísérlet geometriájából adódóan $2 \cdot 10^5$ atomot tartalmazó kollimált nyalábot állítottak elő, amelynek divergenciája kisebb volt, mint $3,5$ mrad [32]. Jelenleg intenzív kutatások folynak az atomlézer fejlesztése terén, mert az atomlézer jelentős technológiai eredményeket hozhat.

*

A munka elkészültét az FKFP 0159/1997, az OTKA T029552, F020094 pályázatok részben támogatták.

Irodalom

1. Griffin, A.: *Excitations in a Bose-Condensed Liquid*. Cambridge University Press, Cambridge, 1993.
2. Anderson, M. H., Ensher, J. R., Matthews, M. R., Wiemann, C. E., Cornell, E. A.: *Science*, 1995, 269, 198.
3. Bradley, C. C., Sackett, C. A., Tollett, J. J. and Hulet, R. G.: *Phys. Rev. Lett.*, 1995, 75, 1687.

4. Davis, K. B., Mewes, M. O., Andrews, M. R., Druten, N. J. van, Durfee, D. D., Kurn, D. M. and Ketterle, W.: *Phys. Rev. Lett.*, 1995, 75, 3969.
5. Parkins, A. S., Walls, D. F.: *Physics Reports*, 1998, 303, 1.
6. Dalfó, F., Giorgini, S., Pitaevskii, L. P., Stringari, S.: *cond-mat/9806038*.
7. Cornell, E. A., Ensher, J. R., Wiemann, C. E.: *cond-mat/9903109*.
8. Mewes, M. O., Andrews, M. R., Druten, N. J. van, Kurn, D. M., Durfee, D. S., Ketterle, W.: *Phys. Rev. Lett.*, 1996, 77, 416.
9. Jin, D. S., Ensher, J. R., Matthews, M. R., Wieman, C. E., Cornell, E. A.: *Phys. Rev. Lett.*, 1996, 77, 420.
10. Mewes, M. O., Andrews, M. R., Druten, N. J. van, Kurn, D. M., Durfee, D. S., Townsend, C. G., Ketterle, W.: *Phys. Rev. Lett.*, 1997, 77, 988.
11. Jin, D. S., Matthews, M. R., Ensher, J. R., Wieman, C. E., Cornell, E. A.: *Phys. Rev. Lett.*, 1997, 78, 764.
12. Andrews, M. R., Kurn, D. M., Miesner, H.-J., Durfee, D. S., Townsend, C. G., Inouye, S., Ketterle, W.: *Phys. Rev. Lett.*, 1997, 79, 553.
13. Stamper-Kurn, D. M., Miesner, H.-J., Inouye, S., Andrews, M. R., Ketterle, W.: *Phys. Rev. Lett.*, 1998, 81, 500.
14. Reidl, J., Csordás, A., Graham, R., Szépfalussy, P.: *Phys. Rev. A*, 1999, 59, 3816.
15. Shi, H., Griffin, A.: *Phys. Rep.*, 1998, 304, 1.
16. Fedichev, P. O., Slyapnikov, G. V.: *Phys. Rev. A*, 1998, 58, 3146.
17. Bene, Gy., Szépfalussy, P.: *Phys. Rev. A*, 1998, 58, R3391.
18. Stringari, S.: *Phys. Rev. Lett.*, 1996, 77, 2360.
19. Fliesser, M., Csordás, A., Szépfalussy, P., Graham, R.: *Phys. Rev. A*, 1997, 56, R2533.
20. Ohberg, P., Surkov, E. L., Tittonen, I., Stenholm, S., Wilkens, M., Shlyapnikov, G. V.: *Phys. Rev.*, 1997, A56, R3346.
21. Csordás, A., Graham, R.: *Phys. Rev. A*, 1999, 59, 1477.
22. Myatt, C. J., Burt, E. A., Ghrist, R. W., Cornell, E. A., Wiemann, C. E.: *Phys. Rev. Lett.*, 1997, 78, 586.
23. Hall, D. S., Matthews, M. R., Ensher, J. R., Wieman, C. E., Cornell, E. A.: *Phys. Rev. Lett.* 1998, 81, 1539.
24. Hall, D. S., Matthews, M. R., Wieman, C. E., Cornell, E. A.: *Phys. Rev. Lett.* 1998, 81, 1543.
25. Stamper-Kurn, D. M., Andrews, M. R., Chikkatur, A. P., Inouye, S., Miesner, H.-J., Stenger, J., Ketterle, W.: *Phys. Rev. Lett.*, 1998, 80, 2027.
26. Stenger, J., Inouye, S., Stamper-Kurn, D. M., Miesner, H.-J., Chikkatur, A. P., Ketterle, W.: *cond-mat/9901072*.
27. Stamper-Kurn, D. M., Miesner, H.-J., Chikkatur, A. P., Inouye, S., Miesner, H.-J., Ketterle, W.: *cond-mat/9902301*.
28. Inouye, S., Andrews, M. R., Stenger, J., Miesner, H.-J., Stamper-Kurn, D. M., Ketterle, W.: *Nature*, 1998, 392, 151.
29. Stenger, J., Inouye, S., Andrews, M. R., Miesner, H.-J., Stamper-Kurn, D. M., Ketterle, W.: *cond-mat/9901056*.
30. Mewes, M.-O., Andrews, M. R., Kurn, D. M., Durfee, D. S., Townsend, C. G., Ketterle, W.: *Phys. Rev. Lett.*, 1997, 78, 582.
31. Andrews, M. R., Townsend, C. G., Miesner, H.-J., Durfee, D. S., Kurn, D. M., Ketterle, W.: *Science*, 1997, 275, 637.
32. Bloch, I., Hänsch, Th. W., Esslinger, T.: *cond-mat/9812258*.

Fizikusok a tőzsdén

A hazai bankok és tőzsdék fellendülése, a piaci műveletek számának és a tranzakciókban gazdát cserélő pénz mennyiségének szakadatlan növekedése elkerülhetetlenné teszi a fejlett országokban kialakított szabályozások és pénzügyi technikák fokozatos átvételét. Ennek során gyakran bekövetkezik, hogy pénzügyi befektetéssel foglalkozó társaságok és bankok egyre nagyobb számban alkalmaznak matematikus- és fizikusvégzettségű munkatársakat, tovább gyarapítva ezzel a nagyvilág „pénzügyfizikusainak” immáron több ezresre becsülhető táborát.

Rég elmúlt már az az idő, amikor a platánfák alatt vésővel és kalapáccsal negyedelték vagy nyolcadolták az aranydollárosokat a tőzsde pionírai. A számítógépes hálózatokon zajló globális kereskedelembe dollármilliárdok áramlanak töredék másodpercek alatt a Föld egyik sarkából a másikba, nem csoda hát, ha nem létezik élő ember, aki nem hogy átlátni, hanem akár csak követni is tudná a tengernyi piaci eseményt és az ezeket befolyásoló történéseket. Pedig a csábítás nagy: míg a legjobb részvények átlagos átfolyama 1991 és 1994 között évi 28%-kal növekedett a New York-i Értéktőzsdén, ha valaki előre tudta volna jelezni a napi árváltozásokat, nyeresége ennek hússzorosát is könnyen meghaladhatta volna. Részben ennek is köszönhetően az 1980-as évek elejétől a legnagyobb tőzsdei szereplők sorban állították fel kvantitatív elemző csoportjaikat. Persze senki sem gondolja komolyan, hogy a pillanatnyi árak valaha is biztonsággal előre jelezhetőek lennének, de az igazán nagy „játékosok” töredék százalékokból is busásan profitálhatnak, ez pedig megér annyit, hogy néhány fizikust is kipróbáljanak. Jogos a kérdés, hogy miért éppen fizikusokat.

Az egyik magyarázat a pénzügyi matematika fejlődéséből adódik. Az első lépés egészen a század elejéig nyúlik vissza, amikor is Louis Bachelier doktori dolgozatában megalkotta a részvényárak ingadozásának véletlen bolyongáson alapuló modelljét [1]. Bachelier matematikusként nem ismerte fel munkájának a fizikát is érintő jelentőségét, így például a Brown-mozgás magyarázatára Einstein öt évvel később megjelent munkája lényegében a Bachelier-elmélet újrafelfedezésének tekinthető. A közgazdaságtanban még hosszabb idő, mintegy hatvan év kellett ahhoz, hogy a sztochasztikus folyamatok elmélete elnyerje méltó helyét.

A fizika területén sokkal nagyobb nevet szerzett egy másik matematikus, Benoit B. Mandelbrot, a fraktálok fogalmának kidolgozója. A tört dimenziós geo-

metriai leírás mellett talán még jelentősebbnek tekinthető az univerzalitás gondolatának kiterjesztése, a fraktál formalizmus nagyon széles, messze nem csak fizikai jelenségekre történő alkalmazása [2].

Az 1960-as évektől kezdődően főleg az intézményes befektetők egyre nagyobb súlyú tőzsdei részvétele és a kockázat minimalizálására való törekvésük olyan új pénzügyi termékek (derivatívák) tömeges elterjedéséhez vezetett, melyek korrekt árazásának matematikája jócskán meghaladja egy átlagos közgazdász vagy pénzügyi szakember ismereteit. A két legismertebb származékos ügylet a határidős, illetve az opciós szerződés. A határidős üzletkötés lényegében fogadás egy „termék” (részvény, kötvény, deviza stb.) jövőbeli árára, az opciós szerződés még egy szabadsági fokot tartalmaz: egy „európai opció” tulajdonosa például arra jogosult, hogy egy előre rögzített jövőbeli időpontban, előre rögzített áron vásároljon (vagy adjon el) egy terméket, de csak akkor, ha ez számára a pillanatnyi árfolyamok alapján hasznot hoz. Hosszú ideig megoldatlan kérdés volt, hogy milyen módon lehet megfelelően figyelembe venni az árfolyamkockázatot egy opciós szerződés díjának kialakításánál. A döntő felismerés Fischer Black, Myron Scholes [3] és Robert Merton [4] nevéhez fűződik, akik az 1970-es évek elején kidolgozták az árazási probléma megoldását, forradalmasítva ezzel a derivatívakereskedelem elméletét és gyakorlatát. (Az utóbbi két kutató eredményeiért elnyerte az 1997-es közgazdasági Nobel-díjat, Fischer Black két évvel korábbi halála miatt nem részesülhetett a magas elismerésből.) Az irodalomban kissé igazságtalanul csak Black és Scholes nevét őrző parciális differenciálegyenlet ismerősként köszönt vissza a sztochasztikus (Fokker–Planck) transzportegyenleteket behatóan ismerő fizikusoknak. Bár az alapelmélet megoldásának zárt formulái a matematikai levezetés megértése nélkül is könnyen közkinccsé tehetők bizonyultak (manapság nincs olyan pénzügyitáblázat-kezelő program vagy igényesebb kalkulátor, melyből ezek hiányoznának), ez már korántsem igaz a valódi piacok elmélettől való finom eltérései által megkövetelt korrekciókra vagy a bonyolult, többszörösen származtatott derivatívák árazására. Akad bőven, mellesleg valódi intellektuális kielégülést is nyújtó, összetett feladat, ami a problémák analitikus megoldásában trenírozott matematikai érdeklődésű kutatókat könnyen elcsábíthatja – nem is beszélve a pénzügyi területeken szokásos fizetések vonzásáról. A nagy pénzintézeteknél alkalmazott kvantitatív analisták feladata egyébként nagyon hasonló az ipari alapkutatásban dolgozó kollégáéhoz, ők is versenyképes termékek kifejlesztésén fáradoznak, bár e termékek végül is nem válnak láthatóvá egyetlen áruház polcain sem.

A fizikusok fokozódó érdeklődésének van egy másik oldala is. Az igazán effektív piacokon olyan nagy számú tranzakció zajlik le rövid idő alatt, ami teljesen elfedi az egyedi kilengések, esetleges manipulációs kísérletek hatását, azaz az egyedi szereplők befolyásolási lehetősége lényegében elhanyagolható. Ugyanez

igaz a piaci szereplők kapcsolataira is: mindenki csak véges számú partnerétől szerzett, igen korlátozott mennyiségű információ feldolgozására képes üzleti döntéseinél. Így aztán a nagy egész, a fortyogó piac egy egyénektől független „természeti jelenségként” is elképzelhető, sőt mi több, leírható és tanulmányozható. A gyakorlatban legjobban bevált eszköztár a statisztikus fizika utóbbi két évtizedében megizmosodott, a nemlineáris dinamika vagy káoszelmélet alapjain nyugvó, egyensúlytól távoli komplex rendszerekre kifejlesztett módszereken alapul [5, 6, 7, 8]. A teljesség igénye nélkül említenénk meg néhány, a területen gyakran felbukkanó kulcsszóhoz kapcsolódó eredményt:

– *Skálázás*

A származékos pénzügyi termékek árazásának egyik kulcsfontosságú eleme a jövőbeli áringadozások valamilyen formában történő becslése. Ehhez általában egy adott részvény múltbeli árváltozásainak statisztikáját veszik alapul. Ezen statisztikák alapos elemzése során derült ki, hogy a Black–Scholes és egyéb hasonló elméletek egyik alapvető feltételezése sérül: az árak változása egyszerű bolyongási folyamattal nem írható le kielégítően. Az észlelések szerint a rövid idejű ingadozások hatványszerű, skálázó eloszlásfüggvénnyel jellemezhetők [2, 6, 7, 9, 10], mely ténynek messzemenő következményei vannak például az extrém események valószínűségének becslésénél.

– *Univerzális fluktuációk*

A nagy gazdasági egységek, pénzpiacok vagy tőzsdék alaptermészetének megértésében sokat segíthetne, ha sikerülne találni olyan univerzális jellemzőket, amelyek felbukkannak egyéb komplex rendszerekben is. Fluktuációk összehasonlító analízise alapján vetődött fel például, hogy a piac dinamikája bizonyos analógiákat mutathat a hidrodinamikában jól ismert (ám szintén nem teljesen értett) turbulens állapottal [11]. Új felismerés az is, hogy nemcsak a tőzsdei árak, hanem a gazdasági egységek növekedése is univerzális fluktuációkkal jellemezhető [12, 13]. Már az is elég meglepő, hogy kis cégek és teljes nemzetgazdaságok hasonló dinamikai jellegzetességekkel bírnak [13], ám hogy kiterjedt madárpopulációk [14] vagy a folyók vízszintingadozása [15] szintén osztoznak e statisztikai mutatókban, messze nem triviális.

– *Adaptív rendszerek*

Gyakran hasonlítják a piaci verseny győzteseinek kiválasztódását a biológiai adaptációs és evolúciós folyamatokhoz, ám meggyőző bizonyítékot nem sokat sikerült felmutatni. E téren igen jelentős eredménynek számít Potters, Cont és Bouchaud munkája [16], melyben sikerült kimutatni, hogy a gyakorlatban észlelhető eltérés a Black–Scholes-féle árazástól éppen a piaci optimumhoz való spontán adaptációt reprezentálja. Az empirikus tanulmányok mellett egyre több olyan modellt állítanak fel, amely dinamikájában, az

egyedek kölcsönhatásának leírásában igyekszik megragadni egy adaptív rendszer kollektív viselkedésének lényegét [17].

– *Véletlen mátrixok*

A véletlen mátrixok elmélete vagy tíz éve vonult be a kvantum-káosz, illetve a mezoszkopikus rendszerek tanulmányozásának eszköztárába. A „pénzügyfizika” területén a véletlen mátrixok különösen hasznosnak bizonyultak a részvények közti korrelációk vizsgálatára [18, 19]; e rejtett korrelációk jelentősége a biztonságos portfóliók összeállításánál jelentkezik.

E felsorolást hosszan folytathatnánk. A fenti példákkal inkább csak azt próbáltuk illusztrálni, hogy a statisztikus fizika igen sokféle, néha elég egzotikusnak tűnő eszköze bizonyul jól használhatónak látszólag egymástól nagyon messze eső területeken.

A kutatói érdeklődés kielégítése mellett persze több is kecsegtet. Erre talán a leghíresebb példa a Doyme Farmer és Norman Packard által 1991-ben alapított, Prediction Company nevű cég, amely exkluzív szerződés alapján a Swiss Bank Corporationnek nyújt befektetési javaslatokat. A nemlineáris dinamikai rendszerek és a káoszelmélet területén jelentős nevet szerzett cégalapítók először csak játékszenvedélyük kielégítése végett fordultak a tőzsde felé, láthatóan nagy sikerrel. Hogy valójában mit találtak, az aligha kerül egyhamar nyilvánosságra, jellemzően egyébként a pénzcsinálás egyéb műhelyeit is körülengő diszkrét hallgatásra. A cég mindenesetre él és virul, létével is biztatást adva az időközben alapított tucatnyi versenytársának (LBS Capital Management, TLB Partners, PanAgora Asset Management, Wall Street Analytics, O'Connor & Associates, Prophecy Systems, Olsen and Associates, Science & Finance stb.), amelyek közül jó páran szintén a modern fizika fegyvertárát is bevetve próbálkoznak a „nyerő szisztéma” megfejtésével.

Az első lépések a hazai fizikusok „bevetésére” bár elég csendesen ugyan, de megtörténtek. A közös nyelvezet megtalálása a pénzügyesek és a teljesen más iskolán felnőtt természettudósok között alapvető, ezt szolgálta az 1997 tavaszán tartott előadás-sorozat az ELTE TTK Bolyai Kollégiumában, ahol a Budapesti Közgazdaság-tudományi Egyetem Száz János (korábbi tőzsdeelnök) által vezetett Pénzügyi Tanszékének legjobb előadói mutatkoztak be a főleg fizikus, matematikus és mérnök hallgatóság előtt. Ezt követte 1997 nyarán a *Workshop on Econophysics* című, nemcsak Budapesten, hanem a szakterületen is elsőként megrendezett nemzetközi konferencia Kertész János (BME Fizikai Intézet) és Kondor Imre (ELTE Komplex Rendszerek Fizikája Tanszék) szervezésében, melynek központi témája fizikai elméletek és módszerek közgazdasági és pénzügyi alkalmazása volt. Az utóbbi években már nemcsak a „gazdaságfizikára” specializálódott találkozók adnak alkalmat az eredmények ismertetésére, hanem a terület egyre elfogadottabbá válik a statisztikus fizika általánosabb, nagyobb összefüggéseivel

is: elég csak megnézni az utóbbi két év konferenciáinak programját (például *Statistical Physics Applied to Practical Problems*, NATO ARW, May 19–22, 1999 Budapest, szervezők: Kertész János, H. Eugene Stanley, Adam Gadomski, Nicolas Vandewalle). A növekvő érdeklődést mutatja az a tény is, hogy az ELTE TTK-n és a BMGE-n végző fizikusok közül egyre többen választanak diplomátémát erről a területről. Hogy a hazai „pénzügyfizikusok” mikor és hogyan bizonyíthatják további képességeiket a gyakorlatban, ez egyelőre nem látható világosan. Mindezenre ha a jelenlegi fejlődési tendencia tartós marad, a honi bankok – hasonlóan a példaadó nagy nyugati pénzintézetekhez – a fiatal, természettudományos végzettségű szakemberek egyik messze nem elhanyagolható, jelentős munkaadójává válhatnak.

Irodalom

1. Bachelier, L.: Théorie de la speculation. *Annales Scientifiques de l'École Normale Supérieure*, 1900, Vol. 3, XVII. 21–86.
2. Mandelbrot, B. B.: The variation of certain speculative prices. *Journal of Bussiness*, 1963, Vol. XXXVI, 392–417.
3. Black, F., Scholes, M.: The pricing of options and corporate liabilities. *Journal of Political Economy*, 1973, Vol. 81, 635–654.
4. Merton, R. C.: Theory of Rational Option Pricing. *Bell Journal of Economics and Management Science*, 1973, Vol. 4, 141–183.
5. Peters, E. E.: *Chaos and Order in the Capital Markets*. Wiley, New York, 1996.
6. Bouchaud, J. P., Potters, M.: *Theorie des Risques Financier*. Alea-Saclay, Eyrolles, 1997.
7. Mantegna, R. N., Stanley H. E.: *Introduction to Econophysics: Correlation and Complexity in Finance*. Cambridge University Press, Cambridge, 1999.
8. *Econophysics: An Emerging Science*. Eds. Kertész J., Kondor I. Kluwer, Amsterdam, 1999.
9. Jánosi, I. M., Janecsikó, B., Kondor, I.: Statistical analysis of 5 s index data of the Budapest Stock Exchange. *Physica (Amsterdam) A*, 1999, Vol. 269, 111–124.
10. Palágyi, Z., Mantegna, R. N.: Empirical investigation of stock price dynamics in an emerging market. *Physica (Amsterdam) A*, 1999, Vol. 269, 132–139.
11. Ghashghaie, S., et al.: Turbulent cascades in foreign exchange markets. *Nature*, 1996, Vol. 381, 767–770.
12. Stanley, M. H. R., et al.: Scaling behavior in the growth of companies. *Nature*, 1996, Vol. 379, 804–806.
13. Lee, Y., et al.: Universal features in the growth dynamics of complex organizations. *Physical Review Letters*, 1998, Vol. 81, 3275–3278.
14. Keitt, T. H., Stanley, H. E.: Dynamics of North American breeding bird populations. *Nature*, 1998, Vol. 393, 257–260.
15. Jánosi, I. M., Gallas, J. A. C.: Growth of companies and water-level fluctuations of the river Danube. *Physica (Amsterdam) A*, 1999, Vol. 271, in print.
16. Potters, M., Cont, R., Bouchaud, J.-P.: Financial markets as adaptive ecosystems. *Europhysics Letters*, 1998, Vol. 41, 239–243.
17. Savit, R., Manuca, R., Riolo, R.: Adaptive competition, market efficiency, and phase transitions. *Physical Review Letters*, 1999, Vol. 82, 2203–2206.
18. Laloux, L., et al.: Noise dressing of financial correlation matrices. *Physical Review Letters*, 1999, Vol. 83, 1467–1470.
19. Plerou, V., et al.: Universal and nonuniversal properties of cross correlations in financial time series. *Physical Review Letters*, 1999, Vol. 83, 1471–1474.

VATTAY GÁBOR, CSERTI JÓZSEF,
SZÁLKA GERGELY, KOLTAI JÁNOS

Periodikus mezoszkopikus struktúrák vezetési tulajdonságai

Bevezetés

Az utóbbi időben mind kísérleti, mind elméleti szempontból jelentős az érdeklődés a mezoszkopikus rendszerek iránt, melyek karakterisztikus méretei csupán néhány atom távolságának felelnek meg. A terület fejleményeinek kitűnő összefoglalója Beenakker és Houten könyve [1]. Ma már sikeresen előállíthatók néhány 100 nm méretű minták, melyekben az elektronok mozgása előre megtervezhető, és olyan kisméretű tartományokra korlátozható, melyekben a mozgás kvantumos jellege alapvető szerepet játszik. Az ilyen szerkezetek előállítási módját az irodalomban nanotechnológiának nevezik, az így készült eszközöket nanoszerkezeteknek vagy nanostruktúráknak hívják.

A technikai fejlődés révén ma már viszonylag egyszerűen létre lehet hozni olyan tartományokat, melyekben az elektronok mozgása gyakorlatilag *kétdimenzióssá* válik. Összeillesztve GaAs és AlGaAs félvezető réteget, a határfelületen egy kétdimenziós tartomány alakul ki. Az elektronok mozgása a határfelületre merőleges irányban gyakorlatilag elhanyagolható a határfelületnél kialakult potenciálvölgy következtében. Ugyanakkor az elektronok mozgása a határfelület mentén szabadnak tekinthető. GaAs/AlGaAs félvezető heteroszerkezetben szabadelektron-modellel írhatjuk le az elektronokat, melyeknek effektív tömege kb. $0,067m_e$. A kis effektív tömeg miatt az elektronoknak nagy a mozgékonyasága. A kétdimenziós elektrongázban az állapotsűrűség állandó, melyet a Fermi-energia rögzít. Az elektronok n_s sűrűsége a határfelületen arányos a Fermi-energiával $n_s \sim E_F \sim k_F^2 \sim 1/\lambda_F^2$, ahol λ_F a Fermi-hullámhossz. GaAs/AlGaAs heteroszerkezetben a normál fémekbeli értékhez képest sokkal kisebb, tipikusan $n_s \sim 3 \cdot 10^{11} \text{ 1/cm}^2$. Fémekben a Fermi-energia $E_F \sim 1 \text{ eV}$ és $\lambda_F \sim 1 \text{ Å}$, míg GaAs/AlGaAs-ben $E_F \sim 14 \text{ meV}$ és $\lambda_F \sim 400 \text{ Å}$. Az elektronok mozgásának másik fontos paramétere az l szabadút-hossz. Fémekben $l \gg \lambda_F$, és hasonlóan viszonylag tiszta, nem szennyezett GaAs/AlGaAs-ben is $l \sim 100\text{--}10\,000 \text{ nm}$, azaz $l \gg \lambda_F$.

Ha negatívan töltött kapuelektrodákat helyezünk a heteroszerkezet tetejére, akkor az elektronok mozgását tovább korlátozhatjuk a kétdimenziós tartományban. Így elérhető, hogy az elektronokat szűk csatornába tereljük. A csatorna szélessége a technológiai fejlődés következtében már 10–100 nm-re csökkenthető. Legyen a csatorna szélessége a , a hossza pedig L . Ekkor az elektron mozgása szempontjából lényegében három különböző típusú tartományról beszélhetünk:

- a) diffúziós: $l < a, L$,
- b) kváziballisztikus: $a < l < L$,
- c) ballisztikus: $a < L \ll l$.

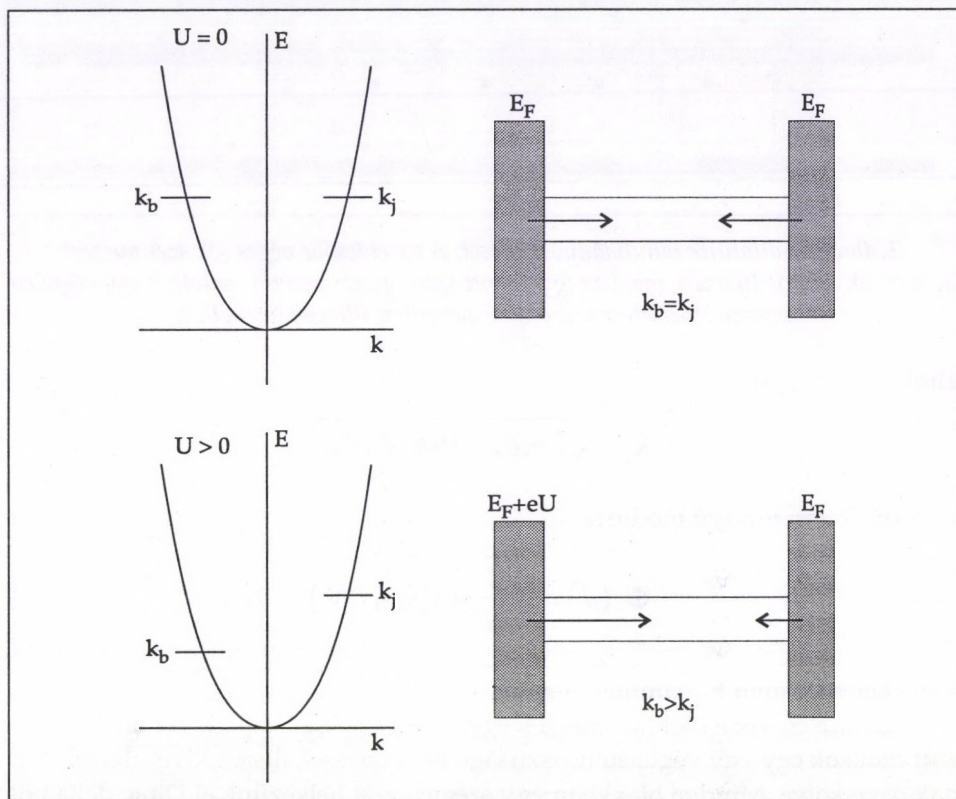
Erősen szennyezett anyagban az elektron mozgása diffúziószerű, míg a kevésbé szennyezett esetben ballisztikusnak tekinthető („pattog” a falakon). Az utóbbi esetben az elektronok szabad mozgását csak a csatorna – a kapuelektronokkal kialakított – falai befolyásolják.

Ideális, szennyezésmentes csatornában a vezetőképesség a Fermi-energia függvényében lépcsőszerű viselkedést mutat, mely már az 1980-as évek óta ismeretes. A legmegdöbbentőbb az, hogy minden egyes lépcső magassága $2e^2/h = 1/12,89 \text{ k}\Omega$ univerzális érték. Elsőként Landauer adott formulát a vezetőképességre, majd Büttiker általánosította több be-, illetve kimenő csatorna esetre. Baranger és Stone pedig a lineáris válaszmélet alapján tetszőleges mágneses tér esetére is kiterjesztette az elméletet [3, 4]. Természetesen a kísérletileg mért vezetés eltérhet a lépcsőszerű viselkedéstől, amit például az anyagban lévő szennyeződések okozhatnak. Élekkel, sarkokkal rendelkező csatorna esetében az elektronoknak a sarkokon történő szóródása a sarkokon ugyancsak jelentősen módosítja a vezetőképesség lépcsős jellegét [6]. Érdekes eredményekkel szolgáltak azok a vizsgálatok, amelyek során az elektronokat kör, illetve stadion alakú térrészekbe engedték, és adott kimeneteken vizsgálták a transzmissziót vagy a vezetőképességet [7].

A kvantumozott vezetőképességet a legegyszerűbb először egy kis, cső alakú vezetőn tanulmányozni. Ha kis feszültséget kapcsolunk a csőre, akkor az elektronok az egyik irányból elkezdenek áramolni a másik irányba, (az 1. ábrán balról jobbra), mert nem ugyanolyan magas a hullámszám-betöltöttség a cső egyik oldalán, mint a másikon (1. ábra). A nem teljesen ideális csövek vezetőképességét a transzmissziós, illetve reflexiós valószínűségi amplitúdók határozzák meg.

Periodikus mezoszkopikus rendszerek

Egy igen kiterjedten alkalmazott modell a fentebb említett mezoszkopikus vezetőkire a végtelen potenciállal övezett, téglalap alakú, kétdimenziós vezetők, szennyezésekkel ellátva [10, 11]. Itt, ebből a modellből kiindulva egy olyan rendszert vizsgálunk, ahol a véges számú, pontszerű szennyezést periodikusan helyez-

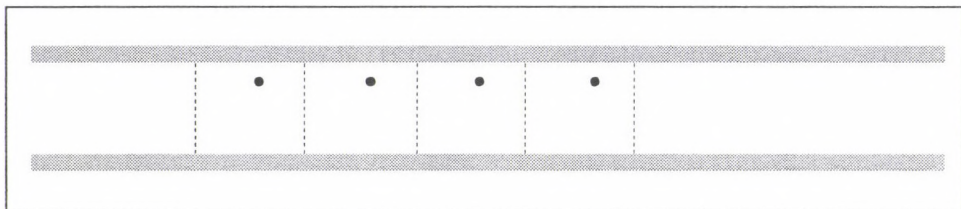


1. ábra. A potenciálkülönbség hatása az energiaviszonyokra a mezoskopikus cső két végénél. Ha a potenciálkülönbség nulla, mindkét oldalon ugyanolyan maximális hullámszámú állapotok vannak betöltve, ha nullától különböző, akkor az egyik oldalon az állapotok magasabb energiáig töltődnek be, és megindul a vezetés

zük el a vezető mentén. Ez a rendszer egy periodikus, azonos módon szennyezett blokkokból felépített mezoskopikus rendszer modellje. Érdekessége abban rejlik, hogy ha csupán néhány blokkot kapcsolunk össze, a vezetés gyorsan esik, a rendszer lokalizációszerű jelenségeket mutat. Sok blokkot összekapcsolva viszont a vezetőképesség csökkenése megáll, a végtelen periodikus rendszer vezetése véges marad.

Tekintsünk egy W szélességű, ideális kétdimenziós vezetőcsövet. Az üres vezetőcső sajátállapotai a következő alakba írhatók:

$$\psi_n(x, y) = \Phi_n(z) e^{ik_n x}, \quad (1)$$



2. ábra. Az általunk tanulmányozott eset. A vezetősőbe véges sok szennyezést helyezünk el periodikusan, majd az így kapott szennyezett vezetőt csatoljuk egy végtelen hosszú, tökéletesen vezető bemenethez, illetve kimenethez

ahol

$$k_n = \sqrt{2mE_F - (\hbar\pi n / W)^2}$$

az n -dik keresztirányú módusra. Itt

$$\Phi_n(y) = \sqrt{\frac{2}{W}} \sin(\pi n y / W)$$

a cső keresztirányú hullámfüggvénye.

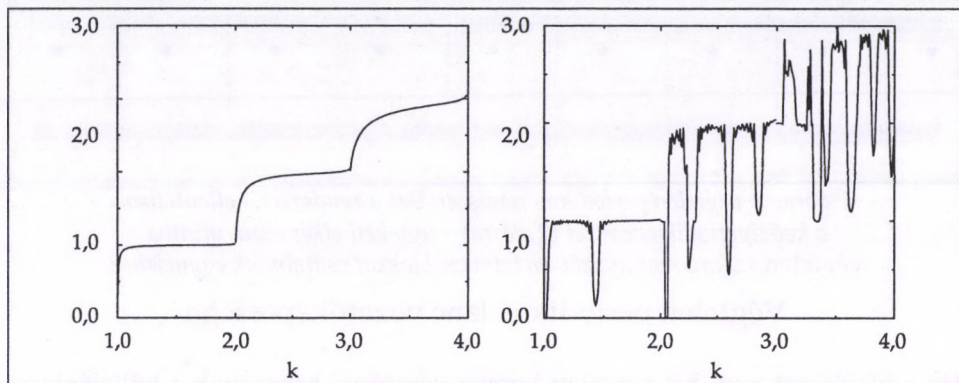
Osszuk a csövet L blokkra, melyek egyenként a hosszúságúak. Az így összefűzött blokkok egy-egy végtelen hosszúságú bevezetéssel, illetve kivezetéssel vannak összekötve. Minden blokkban egy szennyezést helyezünk el Dirac-delta potenciállal, azaz $U(r) = \lambda\delta(r-r_0)$, ahol r_0 a szennyezés pozíciója (2. ábra), λ pedig a szennyezés erőssége. Máshol a blokk belsejében a potenciál nulla, és a határon a végtelen potenciálnak megfelelő $\psi = 0$ Dirichlet-határfeltétel teljesül.

A vezetőképesség a Landauer-Büttiker formula [3] alapján a következő módon számolható:

$$G(E_F) = \frac{2e^2}{h} T, \quad (2)$$

ahol T a teljes transzmisszió adott E_F Fermi-energián. Ez a mennyiség felírható mint az egyes nyitott csatornák parciális transzmissziójának összege:

$$T = \sum_{n,m} |t_{nm}|^2, \quad (3)$$



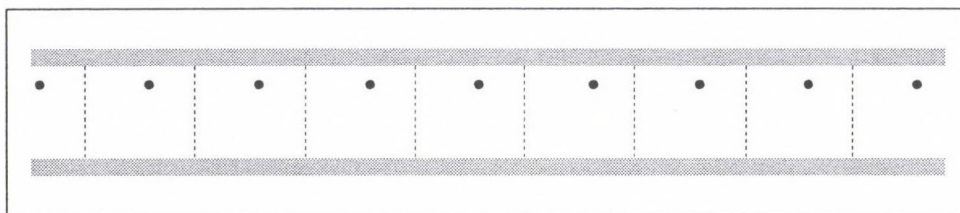
3. ábra. A rendszer vezetőképessége (G) mint a Fermi-hullámszám (k) függvénye. Balra a majdnem tiszta rendszer látható (egyetlenegy darab szennyezés), míg jobbra egy erősen szennyezett vezetőső vezetőképessége van feltüntetve. Látható, hogy mindkét esetben beszélhetünk lépcsős szerkezetről, de egészen más a szerkezetük

ahol $|t_{nm}|^2$ annak a valószínűsége, hogy a bejövő hullám az m állapotból pontosan az n állapotba szóródik. Ezek a transzmissziós amplitúdók a Green-függvény segítségével a következőképpen adhatóak meg [1, 4, 14]:

$$t_{nm} = 2i(k_n k_m)^{1/2} \int dy dy' \Phi_n(y) G^+(x, y | x', y') \Phi_m(y'), \quad (4)$$

ahol y a hosszirányú koordináta, és x , illetve x' (keresztirányú koordináták) a bejáratnál, illetve a kivezetésnél tetszőleges helyen fekszenek. Az n -dik módot nyitottnak nevezzük, ha a keresztirányú hullámfüggvényhez tartozó sajátenergia kisebb, mint az adott Fermi-energia (k_n valós). A szennyezett esetben a Green-függvény rekurzív módon az üres vezető Green-függvényének segítségével számolható [5, 13, 14].

Eredményeinket röviden a 3. ábra foglalja össze. Amíg kevés szennyező van a rendszerben, addig egy egyszerű lépcsős szerkezet alakul ki, amelynek a magyarázata az, hogy amint a Fermi-energia egy újabb keresztirányú módus sajátenergiájánál nagyobb lesz, az ezen módushoz tartozó csatorna megnyílik, és így hirtelen megnő a vezetőképesség. Ez a folyamat kisszámú szennyezés esetében úgy módosul, hogy a hirtelen ugrások lekerelkednek, a lépcsők veszítenek szabályosságukból. Ha azonban sok szennyező van a rendszerben periodikusan elhelyezve, akkor egy egészen más szerkezetű lépcsős forma jelenik meg, amely a végtelen periodikus eset sáv szerkezetével áll kapcsolatban.



4. ábra. A végtelen periodikus rendszer. Ezt a rendszert – ellentétben a kváziperiodikus esettel (2. ábra) – úgy kell elképzelni, mintha végtelen számú szennyezőt tartalmazó blokkot csatolnánk egymáshoz

Végtelen periodikus lánc vezetőképessége

Ha a blokkokat nem két végtelen hosszú vezetővel kapcsoljuk a külvilághoz, hanem a periodikus szennyezéseket mindkét irányban végtelen folytatjuk (4. ábra), akkor megvizsgálhatjuk az így keletkezett rendszer sajátenergiáit, melyek sávszerkezetet alkotnak a q Bloch-szám függvényében.

Ha a q Bloch-számot folytonosan változtatjuk, és minden q -nál kiszámítjuk a szinteket, akkor ezeket az adatokat ábrázolva, megkapjuk a sávszerkezetet.

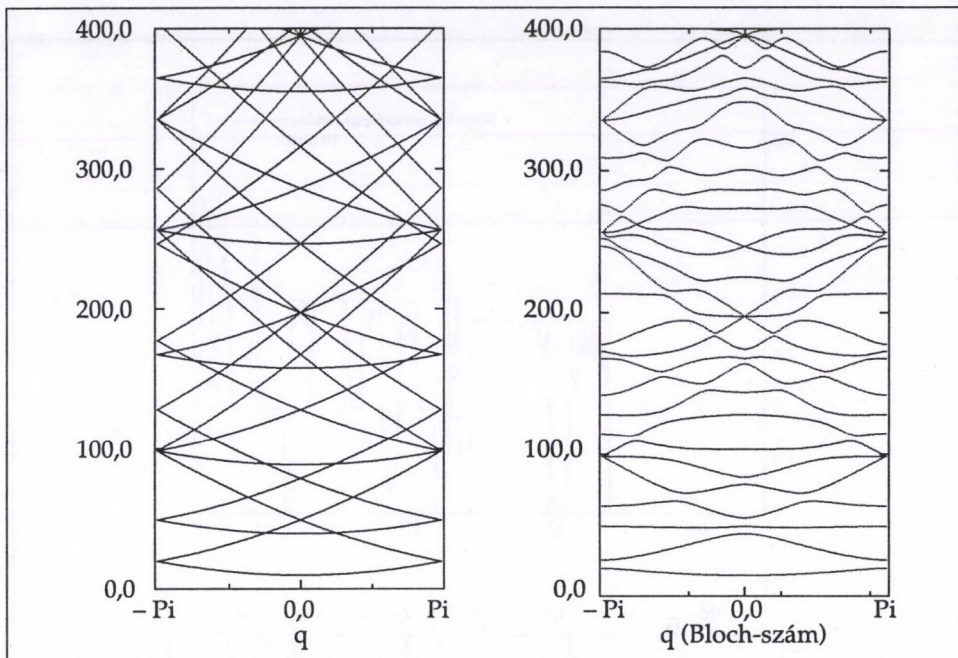
Az 5. ábrán két sávszerkezetet ábrázoltunk, az egyik a szennyezetlen végtelen cső sávszerkezeté, a másik pedig a végtelen sok periodikusan elhelyezett szennyezővel ellátott csőé. Szembeötlő, hogy erős a taszítás a szennyezőkkel perturbált rendszer szintjei között, ami eltorzítja a szennyező nélküli rendszer viszonylag egyszerű sávszerkezetét.

A sávszerkezet ismeretében, a Landauer-formula ügyes alkalmazásával igen gyorsan meg lehet mutatni, hogy e végtelen rendszer vezetőképességét a következő módon számíthatjuk: Ki kell választani egy energiát (E_F), meg kell számolni, hogy ezen az energián hány olyan q van, hogy $\epsilon(q) = E_F$, és ezzel a számmal lesz arányos a vezetőképesség. Ez is egy lépcsőfüggvény lesz, melyben a sávszerkezet tükröződik.

Visszatérve eredeti, véges sok szennyezőt tartalmazó rendszerünkhöz, láthatjuk, ha egyre több szennyezőt helyezünk a csőbe periodikusan, akkor (egy bizonyos szám felett) megjelennek a rendszer végtelen rendszerre jellemző emlékeztető vonásai. Ezt mutatja a 6. ábra [16].

Konduktancia és kvantumkáosz

Ebben a fejezetben végül megvizsgáljuk, hogy milyen kapcsolat áll fenn a vezetőképesség bizonyos átlagos tulajdonságai és a rendszer általánosabb dinamikus tulajdonságai (kaotikusság, illetve regularitás) között.



5. ábra. A sávszerkezet (Energia (E) a Bloch-szám (q) függvényében) $\lambda = 0$ (balra) és $\lambda = 100$ (jobbra) esetén. Összehasonlítva a két ábrát, nagyon jól látszik a különbség és a hasonlóság a sávszerkezeteken.

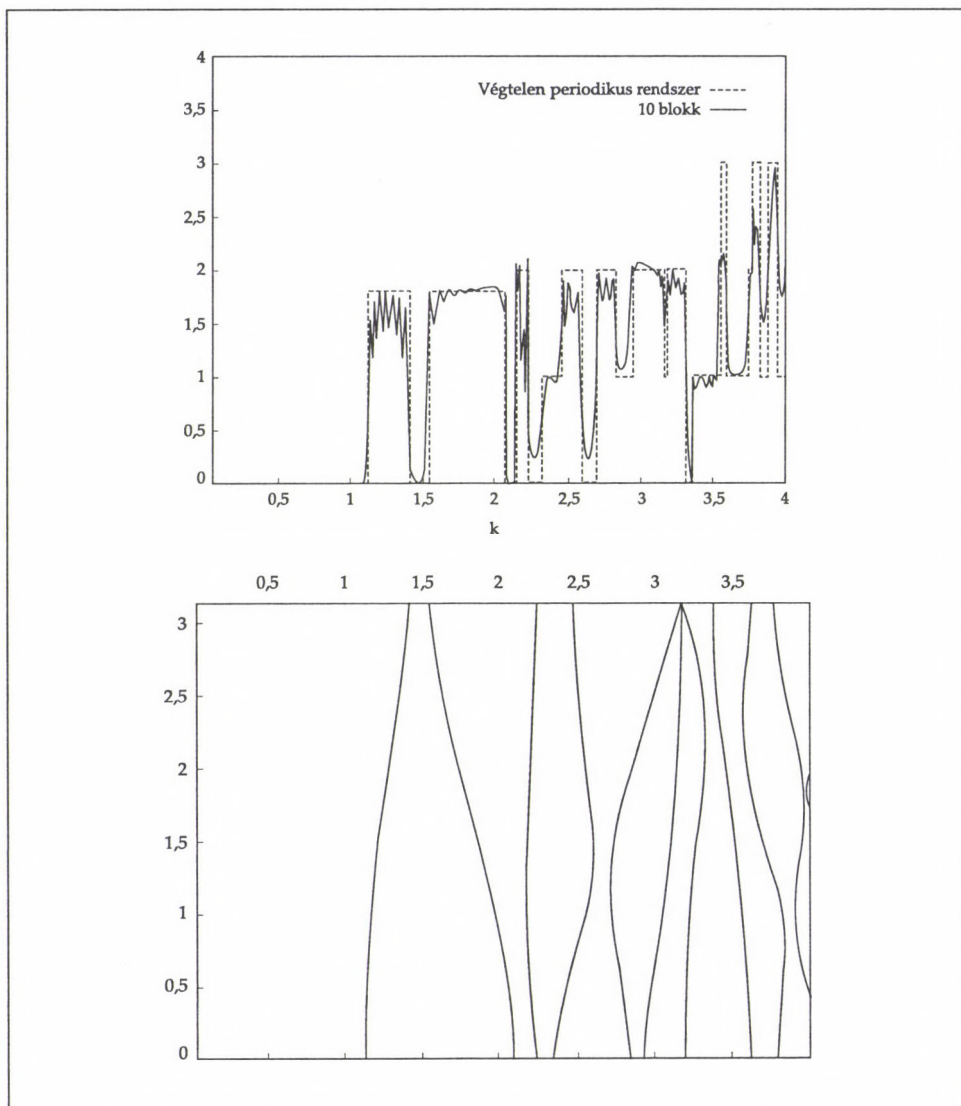
Látszik, hogy a szerkezet nem nagyon változott meg ott, ahol nincsenek egymás közelében a szintek, viszont erősen deformálódott ott, ahol közel voltak, vagy esetleg metszették egymást. Ezeken a helyeken a sávok eltávolodtak egymástól

Átlagos vezetőképesség

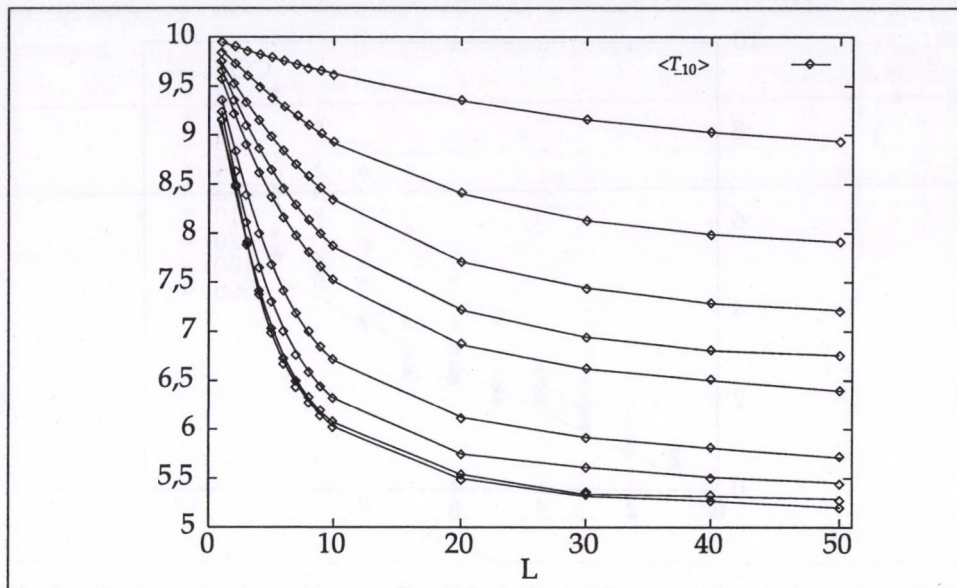
Mint azt megfigyelhettük, a vezetőképesség jelentős fluktuációkat mutat a Fermi-energia függvényében. Ezért célszerű annak átlagos viselkedését vizsgálni. Mivel a nyitott csatornák számának változása jelentősen megváltoztatja a vezetőképesség átlagát, célszerű olyan energiatartományra átlagolni, ahol pontosan N darab csatorna van nyitva. Úgy megválasztva egységrendszerünket, hogy az N -dik csatorna éppen $k_F = N$ -nél nyíljon, az átlagolást az alábbi módon definiálhatjuk:

$$\langle T \rangle_N = \int_N^{N+1} T(k_F) dk_f, \quad (5)$$

ahol $T(E_F)$ jelöli a vezetőképességet az E_F Fermi-energiánál, $\langle T \rangle_N$ pedig az átlagos vezetőképesség akkor, amikor N darab csatorna van nyitva.



6. ábra. Az alsó ábrán a sáv szerkezet egy alsó szelete látható (q Bloch-szám, k Fermi-hullámszám, T a teljes transzmisszió), ahol energia helyett annak négyzetgyökét, a hullámszámot mértük fel az x tengelyre. Ekkor az alsó ábrából megszerkeszthető a felső ábrán látható folytonos vonal, ami a végtelen periodikus rendszer vezetőképessége. A szaggatott vonal a tökéletlen, véges szennyezést tartalmazó esetben számolt vezetőképesség. ($L = 10$ blokkot véve a láncban)



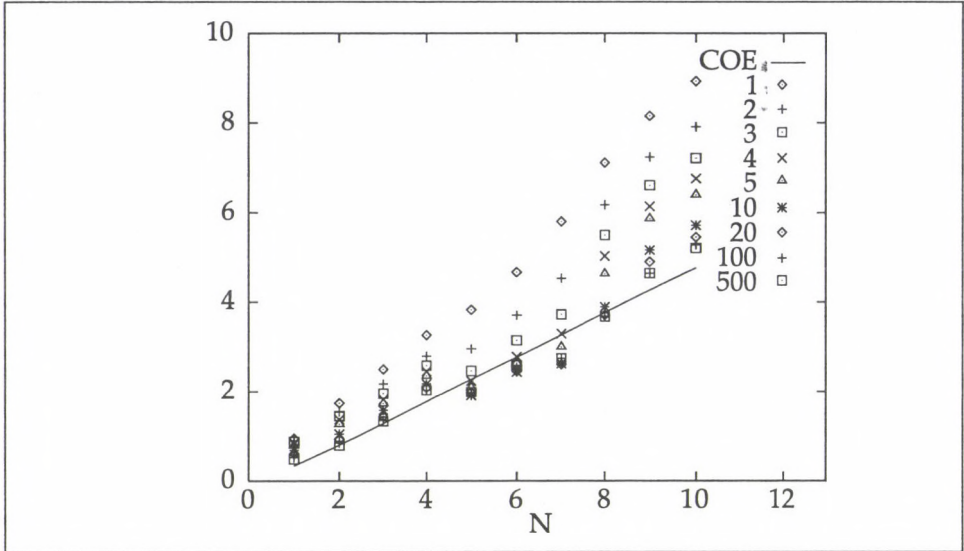
7. ábra. Az átlagos vezetőképesség (AG) $N = 10$ -re [tíz nyitott csatorna az L (blokkok száma) függvényében különböző erősségű szennyezések esetén], $a = l = 1$. $\langle T \rangle_{10}$ -ről (az üres cső vezetőképessége) exponenciálisan csökken minden λ -értékre, $L = 50$ értéknél elérve egy aszimptotikus értéket. Nagy λ -ra ez az érték közelítőleg 5, ami egybeesik a véletlenmátrix-elmélet által jósolt értékkel, kaotikus rendszer esetén

A következőkben ennek a mennyiségnek fogjuk vizsgálni a függését a behelyezett szennyezések számától (L) és erősségétől (λ). Rögzítsük most a szennyezés erősségét, λ -t és N -et, változzon L , és nézzük meg, hogyan változik az átlagos vezetőképesség.

A 7. ábrán az átlagos vezetőképesség látható tíz nyitott csatornára, különböző λ értékekre. Legfontosabb jellemzője ennek a függvénynek, hogy L -ben nagyon jó közelítéssel exponenciális, így igaz rá a következő formula:

$$\langle T \rangle_N = (N - T_\infty(\lambda, N))e^{-L/\xi(\lambda, N)} + T_\infty(\lambda, N), \quad (6)$$

ahol ξ azt mondja meg, hogy milyen gyorsan közelíti meg az átlagos vezetőképesség az aszimptotikus értéket, T_∞ -t, ami a végtelen nagy L értéknél is megmaradó nyitott csatornák száma. A ξ -nek hasonló a jelentése, mint a lokalizációs hosszak teljesen rendezetlen rendszereknél, itt azonban nem tűnik el a vezetés, bármekkora



8. ábra. Az aszimptotikus vezetőképesség értékei $\langle T \rangle_{\infty}$ mint a nyitott csatornák számának (N) függvényei különböző erősségű szennyezések esetén. A folyamatos vonal a teljesen kaotikus esetben jóslott COE eredményt mutatja

rára is választjuk az L -et, mindig maradnak nyitott csatornák, ami annak a következménye, hogy a rendszerünk periodikus.

A 8. ábrán a vezetőképesség aszimptotikus értékeit (T_{∞} -t) mutatjuk be mint a nyitott csatornák számának függvényét különböző λ értékekre. Úgy tűnik, a lineáris N függés minden λ értékre közelítőleg igaz.

Erős szennyezések esetén az általunk kapott értékek nagy N -re jó egyezésben vannak a teljesen kaotikus időfordítási szimmetriával rendelkező rendszer esetére számolt véletlenmátrix-elmélet predikciójával [17].

$$T_{\text{COE}} \approx \frac{N}{2} - \frac{1}{4}. \quad (7)$$

Más λ értékekre a következő kifejezést illesztettük:

$$T_{\infty}(\lambda, N) = \alpha(\lambda)N + \beta(\lambda). \quad (8)$$

Az illesztésből kapott α és β paraméterek a 9. ábrán láthatóak. Látszik, hogy a β nagyjából független a szennyezések erősségétől, és értéke megfelel a gyenge

lokalizációvezető képesség csökkentő hatásának, mely értékre a véletlenmátrix-elmélettel összhangban $-1/4$.

Az α paraméter a szennyezések erősségének növelésével csökken (kb. 1-től $1/2$ -ig). Az $\alpha(\lambda)$ függvény konkrét alakját a következő fejezetben ismertetett szemiklasszikus gondolatmenet segítségével érthetjük meg.

Szemiklasszikus értelmezés

A Hamilton-operátor kevert rendszerekben (amelyek se nem teljesen kaotikusak, se nem regulárisak) két részre bontható, ahol H_R a reguláris, H_C pedig a kaotikus rész:

$$H = H_R + H_C. \quad (9)$$

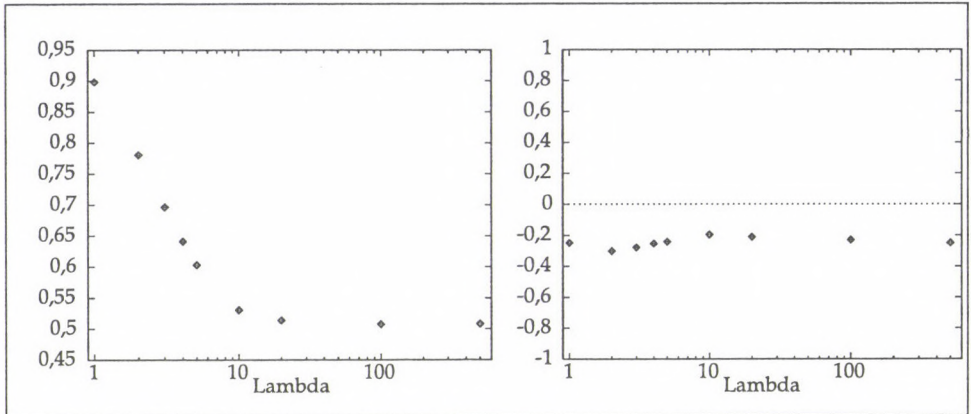
A szennyezésekkel ellátott mezoszkopikus vezetőcső egy blokkjára vonatkoztatva a H_R az üres cső Hamilton-operátora (Laplace-operátor), míg a H_C a Dirac-delta potenciálnak felel meg.

Azt, hogy a rendszer milyen messze van a reguláris, illetve kaotikus tartománytól, attól függ, mekkora a két rész aránya egy adott rendszer esetén. A reguláris rész modellezhető olyan diagonális mátrixokkal, amelyek szintjei egy véletlen sokaságból származnak, és így a szintek távolságának eloszlása Poisson-statisztikát mutat, amelynek mind várható értéke, mind a szórása Δ . Mivel az $1/\Delta$ – az átlagos szint-távolság reciproka – adja meg az átlagos szintsűrűséget, a Weyl-törvény alapján értéke rendszerükre $W a/4\pi$. Az általunk vizsgált esetben $a = W 1$, így

$$\Delta = 4\pi. \quad (10)$$

A kaotikus rész (H_C) olyan véletlen mátrixokkal modellezhető, melyek szórásának az

$$\overline{|\langle \Psi | H_C | \Psi \rangle|^2}$$



9. ábra. Az illesztett α és β paraméterek λ függvényében. Jól látszi, hogy az α paraméter egyre csökken, ahogyan a szennyezések erőssége nő, amíg el nem éri az aszimptotikus (kb. $1/2$) értéket, míg β a jósolt $-1/4$ körül mozog

értékkel kell egybeesnie. Ez az érték a rendszerünk esetében igen egyszerűen kiszámítható, hiszen

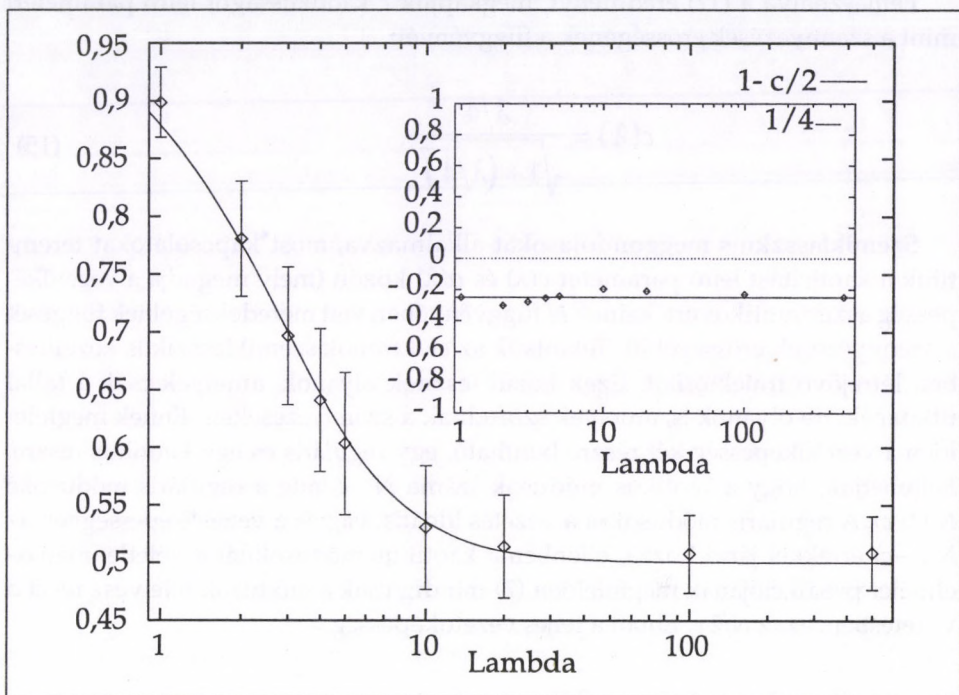
$$\begin{aligned} |\langle \Psi | H_C | \Psi \rangle|^2 &= \left| \iint dx dy \frac{2}{a} \sin\left(\frac{m\pi x}{a}\right) e^{-ik_n z} \lambda \delta(x - x_0) \delta(z - z_0) \sin\left(\frac{n\pi x}{a}\right) e^{ik_n z} \right|^2 = \\ &= \lambda^2 \frac{4}{a^2} \sin^2\left(\frac{m\pi x_0}{a}\right) \sin^2\left(\frac{n\pi x_0}{a}\right). \end{aligned} \quad (11)$$

Ebből átlagolással kapjuk, hogy

$$\overline{|\langle \Psi | H_C | \Psi \rangle|^2} = \lambda^2 = \sigma^2. \quad (12)$$

Ekkor a kaotikusságot meghatározó univerzális paraméter [18, 19] alapján a következő módon definiálható:

$$\eta = \frac{\pi\sigma}{\Delta}. \quad (13)$$



10. ábra. Az a és b illesztett értékei (pontok az illesztés feltüntetett hibájával) és a szemiklasszikus megfontolásból adódó $a(l)$ függvény (folytonos vonal). Az ábra jobb felső sarkában az illesztett b értékek és a véletlemátrix-elmélet predikciója ($-1/4$) látható

Ha a rendszer kaotikus tartományban van, akkor $\sigma \gg \delta$, azaz az η értéke igen nagy, ha a rendszer a reguláris tartományban van, akkor $\sigma \ll \Delta$, azaz η értéke kicsiny. E paraméter újraiskolázott értéke a

$$c = \frac{\eta}{\sqrt{1 + \eta^2}}, \quad (14)$$

amely 0, ha a rendszer reguláris (üres cső), és 1, ha a rendszer teljesen kaotikus ($\lambda \rightarrow \infty$).

Felhasználva a (12) eredményt, megkapjuk c kaotikusságot leíró paramétert mint a szennyezések erősségének a függvényét:

$$c(\lambda) = \frac{\lambda/4}{\sqrt{1 + (\lambda/4)^2}}. \quad (15)$$

Szemiklasszikus meggondolásokat alkalmazva, most kapcsolatokat teremtünk a kaoticitást leíró paraméter $c(\lambda)$ és $\alpha(\lambda)$ között (mely megadja a vezetőképesség aszimptotikus értékeinek N függvényében vett meredekségeinek függését a szennyezések erősségétől). Tekintsük az elektronok szemiklasszikus közelítésben létrejövő trajektóriáit. Ezek közül lesznek olyanok, amelyek csak a fallal ütköznek, de olyanok is, amelyek szóródnak a szennyezéseken. Ennek megfelelően a vezetőképesség két részre bontható, egy reguláris és egy kaotikus részre. Feltehetjük, hogy a kaotikus módusok száma $N \cdot c$, míg a reguláris módusoké $N \cdot (1-c)$. A reguláris módusokra a vezetés ideális, vagyis a vezetőképességhez az $N \cdot (1-c)$ értékkel járul hozzá, ellenben a kaotikus módusoknál a véletlenmátrixelmélet predikciójának megfelelően (7) mindig csak a módusok fele vesz részt a vezetésben, azaz $N/2 \cdot c$. Ebből a teljes vezetőképesség

$$T_{\infty} \approx N \cdot (1-c) + \frac{1}{2} N \cdot c, \quad (16)$$

azaz

$$\alpha = 1 - c/2. \quad (17)$$

A 10. ábrán összehasonlíthatjuk a numerikusan mért értékeket α -ra a szemiklasszikus számolásból adódó eredményekkel, és megállapíthatjuk, hogy nagyon jó egyezést találtunk a két eredmény között, akármilyen nagy is a szennyezés erőssége. Nagy szennyezéseknél tehát ez a szemiklasszikus meggondolás ugyanolyan jól megállja a helyét, mint gyenge szórócentrumok esetén.

Mivel az érvelés sehol sem használta ki rendszerünk bármely speciális tulajdonságát, azt várjuk, hogy ez a leírás szélesebb körben is teljesülni fog, noha jelenleg nem rendelkezünk erre vonatkozó adatokkal. Minden olyan rendszerre, amely a teljesen kaotikus és a teljesen rendezett között helyezkedik el, a transz-

porttulajdonságokat megfigyelve következtethetünk arra, hogy a rendszer centruma milyen mértékben viselkedik kaotikusan a

$$c = 2 \cdot (1 - \alpha) \quad (18)$$

formula alapján, ahol az α a vezetőképesség tanulmányozása során meghatározható. Reméljük, hogy eredményeinket további numerikus és kísérleti munkák majd alátámasztják.

*

Köszönjük az Oktatási Minisztérium, az OTKA T25866/F17166-pályázatok és az OMFB „nanostruktúrák dinamikája” EU-kutatóhálózatban való részvételünkhöz nyújtott támogatását.

Irodalom

1. Beenakker, C. W., Houten, H. van in *Solid State Physics*. Edited by Ehrenreich, H. and Turnbull, D. Academic, New York, 1991, Vol. 44, pp. 1–228, 4.
2. Leboeuf, P. *preprint*.
3. Landauer, R.: IBM J. res. Dev., 1957, 1, 223; *Phylos. Mag.*, 1970, 21, 863; Büttiker, M.: *Phys. rev. Lett.*, 1986, 57, 1761.
4. Baranger, H., Stone, D.: *Phys. Rev.*, 1989, B40, 8169.
5. Grosche, C.: *Ann. Physik*, 1993, 2, 557.
6. Vattay, G., Cserti, J., Palla, G., Szálka, G.: *Chaos, Solutions & Fractals*, 1997, 8, 1031.
7. Jalabert, R. A., Baranger, H. U., Stone, A. D.: *Phys. Rev. Lett.*, 1990, 65, 2442; Baranger, H. U., Jalabert, R. A., Stone, A. D.: *CHAOS*, 1993, 3, 4.
8. Tanigochi, N. and Altshuler, B. L.: *Phys. Rev. Lett.*, 1993, 71, 4031.
9. Dittrich, T., Mehlig, B., Schanz, H., Smilansky, U.: *Chaos, Solutions & Fractals*, 1997, 8, 1205.
10. Shudo, A., Shimizu, Y., Šeba, P., Stein, J., Stöckmann, H.-J., Życzkowski, K.: *Phys. Rev.*, 1994, E49, 3748.
11. Šeba, P.: *Phys. Rev. Lett.*, 1990, 64, 1855.
12. Mehta, M. L.: *Random Matrices and the Statistical Theory of Energy Levels*. Academic Press, New York and London, 1967.
13. Cserti, J., Szálka, G., Vattay, G.: *Phys. Rev.*, 1998, B57, 24.
14. Szálka Gergely: *Mezoszkopikus vezető konduktanciája*. Szakdolgozat, 1998. <http://galahad.elte.hu/gegix/dipl.ps.gz>, Koltai János: *Rendezett-rendeztlen átmenet diszkrét szennyezett nanodrótokban*. Szakdolgozat, 1999. <http://galahad.elte.hu/koltai/diploma.tgz>
15. Taniguchi, N., Altshuler, B. L.: *Phys. Rev. Lett.*, 1993, 71, 4031.
16. Cserti, J., Szálka, G., Vattay, G.: *Proceedings of IAPS97*, Vienna.
17. Baranger, H., Mello, P.: *Europ. Lett.*, 1996, 33, 465.
18. Guhr, T.: *Ann. Phys. (NY)*, 1996, 250, 145.
19. Pandey, A., Mehta, M. L.: *J. Phys.*, 1983, A16, L601, 2655. French, J. B., Kota, V. K. B., Pandey, A., Tomsovic, S.: *Ann. Phys. (NY)*, 1988, 181, 198. Guhr, T., Weidemüller, H. A.: *Ann. Phys. (NY)*, 1989, 193, 472.

ANYAGTUDOMÁNYI BIZOTTSÁG

ANYAGTUDOMÁNY '99

Kétdimenziós modellrendszerek, nemesfém nanoklaszterek oxidfelületeken

A heterogén katalitikus eljárások a gazdasági élet számos stratégiai fontosságú területén óriási jelentőségűek. Ezek sorában megemlíthetjük a szénhidrogénipart, az egészségre veszélyes mérgező gázok semlegesítésére irányuló környezetvédelmi és a különböző szintetizálási eljárásokat alkalmazó szerves kémiai, illetve gyógyszerkémiai ipart. Természetesen ezen ipari tevékenységek hatalmas méretű kutató- és fejlesztőmunkára támaszkodnak. Ma az anyagkutatás területén végzett munkák igen jelentős része kapcsolódik új típusú vagy az eddigieknél jobb minőségű katalizátorok kifejlesztéséhez. A század elején kialakuló katalitikus ipar technológiai fejlesztése főként empirikus próbák módszerével történt. Természetesen már a korai időszakban is nélkülözhetetlenek voltak a fiziko-kémiai alapismeretek, de ezen ismeretek hiányosságai miatt, valamint a katalizátorok komplex működési mechanizmusa következtében sokáig csupán esetlegesnek tűnt a tudományos alap kutatás szerepe a tényleges ipari katalizátorok kifejlesztésében.

Bizonyos értelemben új fejezet kezdődött a heterogén katalitikus kutatásokban azzal a – főként Gabor Somorjai és Gerhard Ertl nevéhez fűződő – koncepcióval, hogy a katalitikus folyamatok jól jellemezhető felületeken történő vizsgálatával közelebb kerülhetünk nemcsak a reakciók megértéséhez, hanem az előre megadott funkciót betöltő katalizátorok kifejlesztéséhez is. Bár a modell fogalma a tudományos kutatás minden területén alapvető kategória, esetünkben a modellkatalizátor kifejezés éppen az imént említett két kutató munkái alapján használatos.

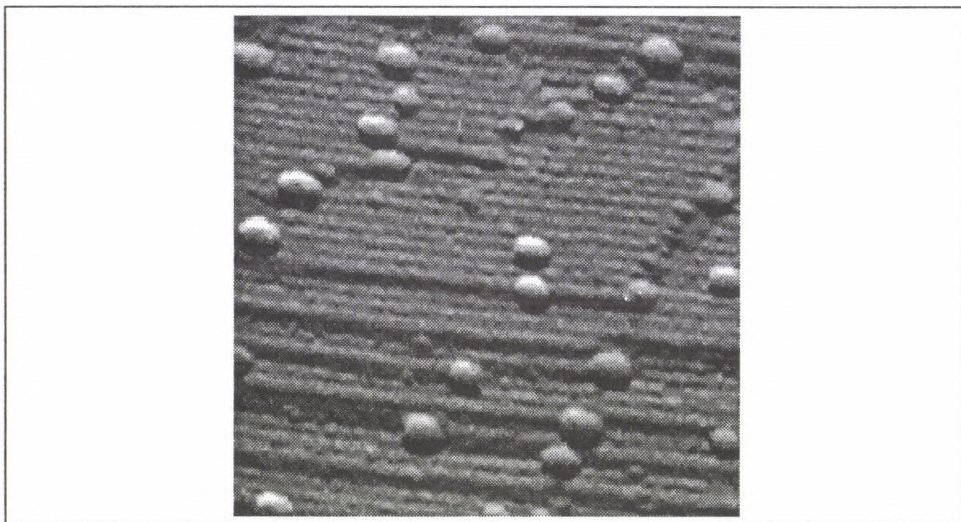
A továbbiakban, tekintettel a jelen munka témájára, korlátozzuk figyelmünket az úgynevezett oxidhordozós nemesfém katalizátorok körére. Mint ismeretes, ezen katalizátorok alapvető strukturális jellemzője az, hogy nanométer nagyságú nemesfém klaszterek helyezkednek el mikrométer nagyságú oxidszemcsék felületén. Számos eljárás ismeretes ilyen úgynevezett polikristályos szerkezet kialakítására. Az adott módszertől általában nagymértékben függ az átlagos szemcseméret s ezáltal a katalizátor működése. Első közelítésben az oxid csupán a

támasztófelület szerepét tölti be, de a folyamatok finomabb részleteinek leírásához ez a feltételezés nem elegendő, az oxid szerepét is fontos tisztázni. Ha azonban a szisztematikus alapkutatási vizsgálatokhoz egy viszonylag egyszerű modellt keresünk, akkor – tekintettel arra, hogy a legtöbb reakcióban a fém a meghatározó aktív komponens – a fémen lejátszódó folyamatok megértése a legfontosabb feladat. Tulajdonképpen ezen elv érvényességének vizsgálata volt a célja azoknak a kísérleti és elméleti erőfeszítéseknek, amelyeket a úgynevezett felülettudományi eszközrendszer bevetésével az elmúlt két-három évtizedben a területet művelő kutatók a világ számos laboratóriumában megvalósítottak. Ennek során tanulmányozták egykristály, illetve polikristályos nemesfém felületek katalitikus aktivitását, illetve a folyamatok elemi lépéseit. Ehhez elengedhetetlen volt az úgynevezett ultravákuum-technika és a különböző felületanalitikai módszerek (elsősorban az elektron- és fotoelektron-spektroszkópiai módszerek) látványos fejlődése. Az alábbiakban csak felsorolásszerűen szeretnénk megemlíteni a vizsgálandó kérdések közül a legfontosabbakat: (i) az adott katalitikus folyamatban szereplő kiindulási anyagok adszorpciós mechanizmusa; (ii) a folyamatban feltételezett köztitermékek, átmeneti formák stabilitása és felületi reakciói; (iii) a folyamatban szereplő különböző felületi formák kölcsönhatása, illetve az úgynevezett adalékok (a gáztérből vagy a fém szennyezéseként jelenlévő adatomok) szerepe a kiindulási anyagok adszorpciójában, illetve a köztitermékek reakcióiban; (iv) a gáztér nyomásának (s ezzel a kiindulási molekulák belső energiájának) szerepe az adszorpció kinetikájában; (v) gázfázisban instabil, de a reakciók szempontjából fontos köztitermékek előállítási módszereinek kidolgozása és az ily módon létrehozott specieszek reakcióinak szisztematikus vizsgálata; (vi) a fémfelület anyagi minőségének és szerkezetének hatása a fenti folyamatokra, illetve ezen folyamatoknak a fémfelületekre gyakorolt hatása (termikusan, illetve a gáz-adszorpció hatására indukált felületi rekonstrukciók). Még az olyan, viszonylag egyszerű katalitikus folyamat megértése is, mint a $\text{CO} + \text{H}_2$ reakció – amelynek során különböző szénhidrogének, illetve alkoholok keletkezhetnek –, számos elemi lépés mechanizmusának ismeretét feltételezi. Mindazonáltal a legfontosabb katalizátorfémek esetében ma már részletes ismeretekkel rendelkezünk a legalapvetőbb katalitikus folyamatok elemi lépéseiről.

A közelmúltban a heterogén katalitikus modellrendszerek területén végzett kutatások súlypontja egyre inkább eltolódik az úgynevezett kétdimenziós síkkatalizátorok vizsgálatára. Ezen modellanyagok a következő módon állíthatók elő: egy viszonylag jól jellemezhető szerkezettel rendelkező oxidfelületre (epitaxiális vékonyréteg vagy oxidegykristály) valamilyen technikával fém nanoszemcséket juttatunk. Ily módon kémiai és szerkezetileg jól jellemezhető és bizonyos korlátok között tetszés szerint kontrollálható modellanyagokat kapunk, amelyek lényegében már megegyeznek az ipari katalizátorok szerkezetével. Nem állítható, hogy

ilyen jellegű vizsgálatokat korábban nem végeztek, de a pásztázó atomszondás módszerek (például a pásztázó alagút-mikroszkópia, STM, illetve atomerő-mikroszkópia, AFM) megjelenése kétségkívül áttörést jelent ezen a területen. Ennek az a magyarázata, hogy bár léteztek különböző módszerek az 1–10 nm nagyságú nanoszemcsékkel borított felületek szerkezetének jellemzésére, ezek vagy bonyolult mérés technikát (például felületérzékeny röntgenabszorpciós küszöbspektroszkópia, SEXAFS), vagy közvetett és bonyolult értékelési módszereket (kis energiájú elektrondiffrakció, LEED) igényeltek. Az STM és az AFM segítségével mind a fém nanoszemcsék szerkezete, mind eloszlása pontosan jellemezhető, s így módon ezen paramétereknek az adott katalitikus folyamatban játszott szerepe tisztázható. Ha ehhez még hozzávesszük azon módszerek lendületes fejlődését, amelyekkel ilyen modellfelületek az előre kívánt szerkezetben létrehozhatók, akkor elég nyilvánvaló, hogy a következő évek heterogén katalitikus vizsgálataiban kiemelkedő szerepet fognak játszani. A fentiekben megfogalmazott kutatási feladatokat (i–vi) a fém nanoszemcsékkel borított felületek esetében is el kell végezni, ugyanakkor újabb tisztázandó kérdések is felvetődnek: (vii) a fém nanoszemcsék méretének hatása az adott katalitikus reakcióra; (viii) a nanoszemcsék peremén, illetve a belső felületén elhelyezkedő fématomok szerepében mutatkozó különbség; (ix) az oxidhordozó és a fém közötti kölcsönhatás szerepe; (x) a szemcsék átlagos távolságának hatása a katalitikus folyamat szelektivitására.

Az MTA Reakciókinetikai Tanszéki Kutatócsoportban közel 20 év óta művelt felülettudományi kutatási témák szorosan kapcsolódnak az oxidhordozós nemesfém katalizátorokon lejátszódó folyamatok elemi lépéseinek vizsgálatához. E kutatási téma keretében részletesen tanulmányoztuk a tiszta, valamint az elektropozitív, illetve elektronegatív adalékokkal (kálium, bór, oxigén, klór, szén) dotált nemesfém-egyikristályfelületeken (Pd, Pt, Rh, Ru) adszorbeált molekulák és közti-termékek termikus reakcióit elektron- és fotoelektron-spektroszkópiai módszerekkel. Az utóbbi két-három évben vizsgálatainkat kiterjesztettük az úgynevezett kétdimenziós modellkatalizátorokra, amelyeket jól definiált összetételű és szerkezetű, megfelelően kezelt felületű oxidegykristályokra (TiO_2) történő fém párologtatással *in situ* alakítunk ki. Hazánkban elsők között sikerült egységekből felépítenünk egy ultravákuumban működő pásztázó-alagútmikroszkópiára alkalmas berendezést, s alkalmaznunk a heterogén katalitikus kutatásainkban. Előadásunkban az ezzel kapcsolatosan publikált és publikálás alatt lévő eredményeinket ismertettük [1–9]. Tekintettel arra, hogy a témáról a *Magyar Kémiai Folyóirathoz* egy bővebb, összefoglaló dolgozatot már elküldtünk közlésre (MKF, 2000, 106, 7.), jelen munkánkban csupán felsoroljuk az előadásban ismertetett témákat, valamint egy rövid összefoglalót adunk az elért eredményekről.



1. ábra. Ir nanoklaszterekkel borított $\text{TiO}_2(110)-(1 \times 2)$ felület
50 nm \times 50 nm méretű STM-képe

1. A tiszta $\text{TiO}_2(110)$ felület szerkezete.
2. $\text{TiO}_2(110)-(1 \times 2)$ felületen hordozott ultravékony nemesfém rétegek (Rh, Ir) szerkezete.
3. Nemesfém kristallitok növesztése előre meghatározott átlagos távolságban.
4. Alagútáram-indukált nanostruktúrák tiszta és nemesfémrel borított oxidfelületeken.
5. Hordozott nemesfém-nanoklaszterek (Rh, Ir) morfológiai változásai gázok jelenlétében.
6. TiO_2 -felületen hordozott Rh nanoklaszterek dekorációja a hordozó anyagával.

Oxidegykristály-felületekre történő fém párologtatással olyan kétdimenziós modellrendszereket hoztunk létre, amelyek már nagyon jó közelítéssel megfelelnek a polikristályos oxidhordozós nemesfém katalizátorok szerkezetének (1. ábra). A $\text{TiO}_2(110)$ kristály 1100 K-en végzett kezelése a felület (1×2) rekonstrukcióját eredményezi, amely igen stabil és viszonylag nagy méretű teraszokat hoz létre. Ily módon a felületen lejátszódó kémiai folyamatok jól követhetők pásztázó alagútmikroszkópiával. A $\text{TiO}_2(110)-(1 \times 2)$ felületre párologtatott ultravékony nemesfém filmek (Rh, Ir) termikus stabilitásának tanulmányozása eredményeképpen kidolgoztunk egy módszert hordozott nemesfém kristallitok növesztésére, előre meghatározott eloszlásban és nagyságban. Bemutattuk, hogy az 1-2 nm átmérőjű Rh és Ir nanorészecskék CO-adszorpció (néhány perc, 10^{-1} mbar) hatására már szoba-

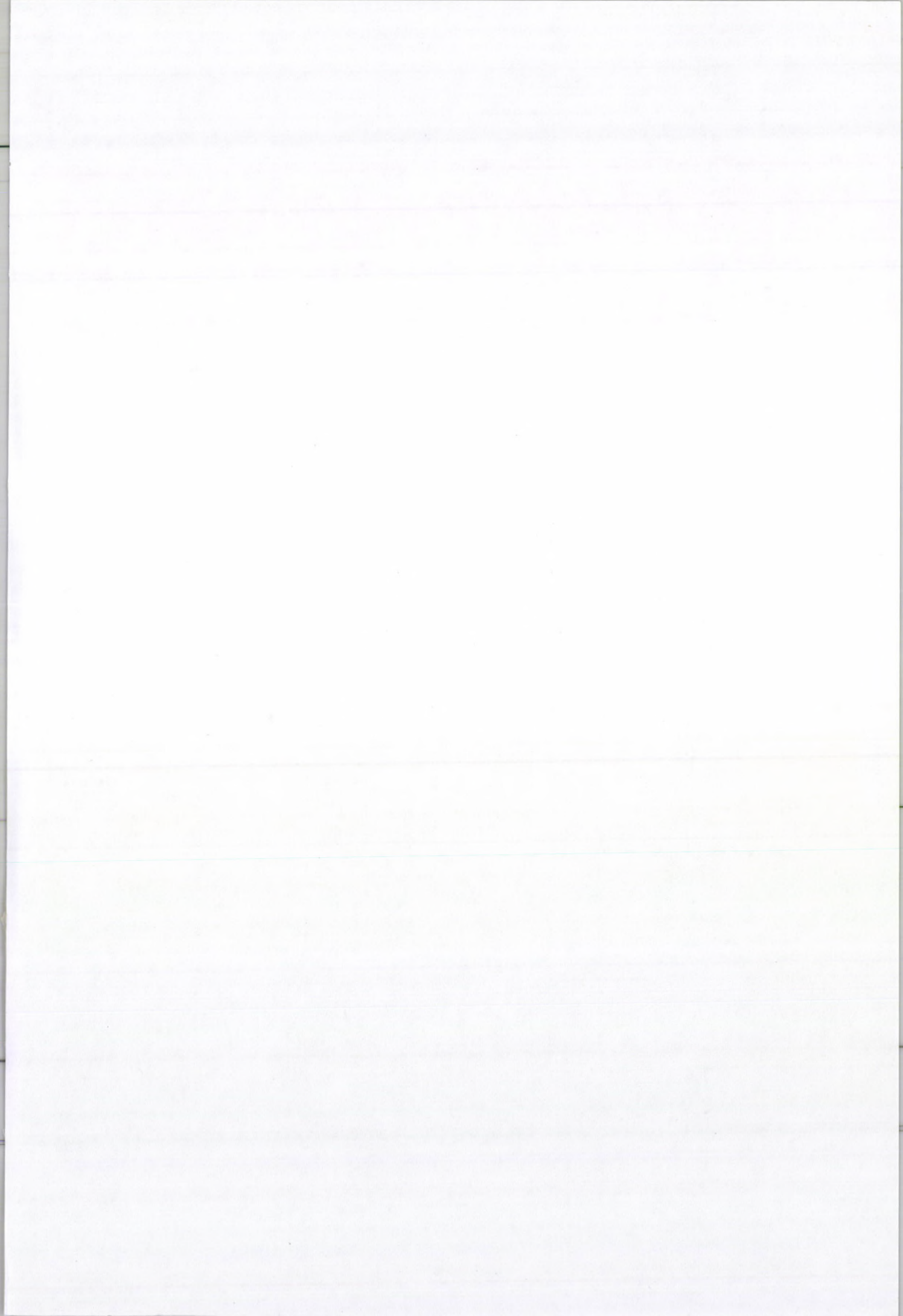
hőmérsékleten kisebb részekre (felületi karbonilok képződése) esnek szét. Magasabb hőmérsékleteken (500 K felett) CO-ban történő kezelés hatására a nanorészecskék aktivált agglomerációja figyelhető meg. A nagyobb átmérőjű nemesfém nanokrisztallitok ($> 5\text{--}10\text{ nm}$) nem változnak még nagyobb CO-nyomáson sem (néhány perc, 10 mbar), ugyanakkor 500 K felett nagy aktivitást mutatnak a CO diszproporcionálódásában, melynek során 3D szén-nanorészecskék keletkeznek. Hidrogénben (néhány perc, 10^{-3} mbar) 750 K-en végzett hőkezelés hatására a Rh nanokrisztallitok dekorációja megy végbe (redukált Ti_xO_y fázis diffundál a Rh krisztallitokra), amelyet sikerült STM-mel is kimutatni. Részletesen vizsgáltuk azt a folyamatot, melynek során egy kritikus minta-tű feszültség felett (+3,5 V) mind a tiszta, mind a szobahőmérsékleten Rh-mal, illetve Ir-mal borított $\text{TiO}_2(110)-(1\times 2)$ felületeken nanométer léptékű szerkezeti változások indukálhatók.

*

A szerzők köszönetüket fejezik ki a ismertetett eredmények megszületéséhez nyújtott segítségükért a következő kollégáiknak: Dr. Deák László, Dr. Klivényi Gábor, Ménesi Gizella, Kriván Emese. Köszönettel tartozunk az Országos Tudományos Kutatási Alap támogatásáért: OTKA T022869, T029952.

Irodalom

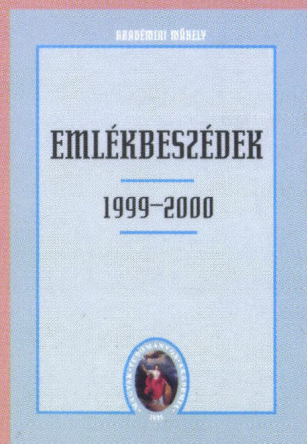
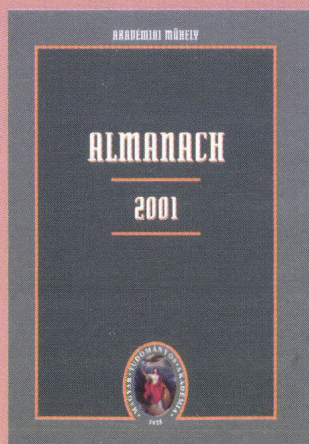
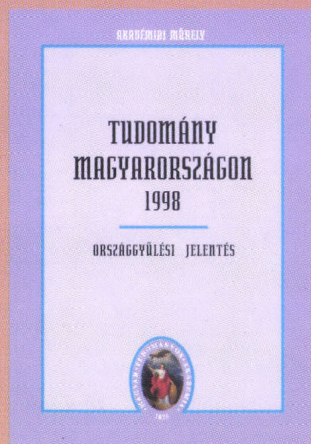
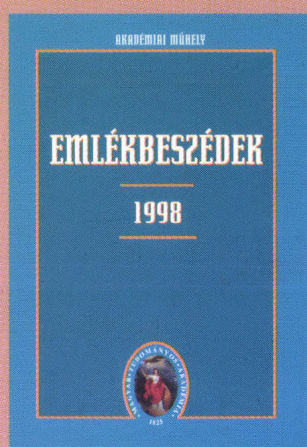
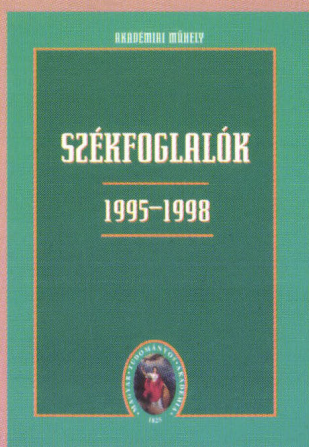
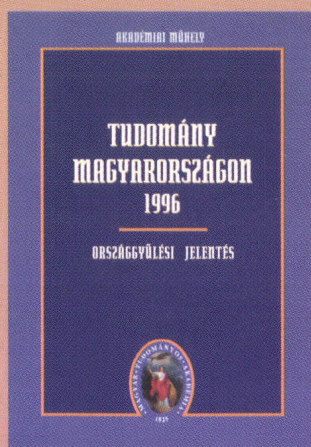
1. Berkó, A. Solymosi F.: *Langmuir*, 1996, 12, 1257.
2. Berkó, A. Ménesi, G. Solymosi F.: *J. Phys. Chem.*, 1996, 100, 17732.
3. Berkó, A. Ménesi, G. Solymosi F.: *Surf. Sci.*, 1997, 372, 202.
4. Berkó, A. Kriván E.: *J. Vac. Sci. Technol.*, 1997, B 15, 25.
5. Berkó, A. Solymosi F.: *Surf. Sci.*, 1998, 400, 281.
6. Berkó, A. Ulrych, I. Prince K. C.: *J. Phys. Chem.*, 1998, B 102, 3379.
7. Berkó, A. Solymosi F.: *Surf. Sci.*, 1998, 411, L900.
8. Berkó, A. Klivényi, G. Solymosi F.: *J. Catal.*, 1999, 182, 511.
9. Berkó, A. Solymosi F.: *J. Catal.*, 1999, 183, 91.





AKADÉMIAI MŰHELY

1997-ben az Akadémia vezetése úgy döntött, hogy könyvsorozatot indít „Akadémiai Műhely” címmel, amelynek feladata, hogy segítse Akadémiánk működésének rendszerességét, és egyben szervezze is az akadémiai fórumokat. El akarjuk érni, hogy az akadémiai székfoglalókat írásban is készítsék el tagtársaink, ezért jelentetjük meg azokat 1998-tól rendszeresen (*Székfoglalók a Magyar Tudományos Akadémián*). Erősíteni akarjuk a tudótestület tradícióit mint bennünket összetartó erőt és a tudományban a folyamatosság fontosságára figyelmeztető tényezőt. Ezért újítottuk fel az 1949-ben megszakadt emlékbeszédek hagyományát az Akadémia elhunyt tagjairól. Gondoskodni kívánunk ezek kiadásáról (*Emlékbeszédek az MTA elhunyt tagjai felett*). Közreadjuk ezután a közgyűlések alkalmából elhangzott tudományos előadások szövegét (*Közgyűlési előadások*). Ezek mellett megindítjuk az Akadémia történelmében valahogy mindig elmaradt évkönyvsorozatot (*Az MTA Évkönyve*), és rendszeresen megjelentetjük az 1991-ben megszakadt, majd 1997-ben újraindított akadémiai almanachsorozatot (*Az MTA Almanachja*).



I-II. kötet: 1900 Ft